SÉRIE A, N° 3600
N° D'ORDRE : 4472

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences
de l'Université de Paris

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Monique PICK, née GUTMANN

1re THÈSE : Évolution des émissions radioélectriques solaires de type IV et leur relation avec d'autres phénomènes solaires et géophysiques.

2e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 5 Décembre 1960 devant la Commission d'examen.

MM. KASTLER *Président.*
DANJON } *Examinateurs.*
SCHATZMAN }

SERVICE DES PUBLICATIONS DU C. N. R. S.
13, Quai Anatole-France
PARIS 7e
1961

SÉRIE A, N° 3600
N° D'ORDRE : 4472

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Monique PICK, née GUTMANN

1re THÈSE : Évolution des émissions radioélectriques solaires de type IV et leur relation avec d'autre phénomènes solaires et géophysiques.

2e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 5 Décembre 1960 devant la Commission d'examen.

MM. KASTLER *Président.*
DANJON, SCHATZMAN } *Examinateurs.*

SERVICE DES PUBLICATIONS DU C. N. R. S.
13, Quai Anatole-France
PARIS 7e
1961

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen . . . . . J. PÉRÈS.

PROFESSEURS

G. JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
DE BROGLIE	T	Théories physiques.
PRENANT	T	Anatomie et histol. comparées.
PÉRÈS	T	Mécanique des fluides et applications.
BARRABÉ	T	Géologie struct. et Géologie appliquée.
BOURCART	T	Géogr. physique et Géol. dynamique.
PLANTEFOL	T	Botanique.
GRASSE	T	Évolution des êtres organisés.
PRÉVOST	T	Chimie organique.
BOULIGAND	T	Applination de l'analyse à la Géométrie.
CHAUDRON	T	Chimie appliquée.
WYART	T	Mnéralogie.
TEISSIER	T	Zoologie.
MANGENOT	T	Biologie végétale.
P. AUGER	T	Physique quantique et relativité.
MONNIER	T	Physiologie générale.
PIVETEAU	T	Paléontologie.
ROCARD	T	Physique (E. N. S.).
H. CARTAN	T	Mathématiques (E. N. S.).
LAFFITTE	T	Chimie Générale.
FAVARD	T	Géométrie supérieure.
COULOMB	T	Physique du Globe.
Mlle COUSIN	T	Biologie animale (S. P. C. N.)
CHRÉTIEN	T	Chimie minérale.
P. DRACH	T	Zoologie.
KASTLER	T	Physique (E. N. S.)
ÉPHRUSSI	T	Génétique.
WURMSER	T	Biologie physico-chimique.
RIVIÈRE	T	Géologie (S. P. C. N.) Orsay.
GAUTHERET	T	Biologie Végétale (P. C. B.).
LUCAS	T	Recherches Physiques.
A. THOMAS	T	Biol. cellulaire.
ARNULF	T	Optique appliquée.
M. MORAND	T	Enseignement de Physique.
SOLEILLET	T	Physique (P. C. B.).
FORTIER	T	Mécanique expérimentale des fluides.
DANJON	T	Astronomie.
PETIT	T	Biologie maritime.
QUENEY	T	Météorologie et dynamique atmosphérique.
GALLIEN	T	Embryologie.
EICHHORN	T	Biologie végétale (S. P. C. N.).
DE CUGNAC	T	Biologie végétale (S. P. C. N.).
Mlle CAUCHOIS	T	Chimie physique.
THELLIER	T	Physique du Globe.
L'HÉRITIER	T	Génétique.
GRIVET	T	Radio-électricité.
PONCIN	T	Mécanique générale.
DUBREIL	T	Arithmétique et théorie des nombres.
QUELET	T	Chimie organique.
CAGNIARD	T	Géophysique appliquée.
CHAMPETIER	T	Chimie macromoléculaire.
CUVILLIER	T	Micropaléontologie.
JUNG	T	Pétrographie.
TRILLAT	T	Microscopie et diffraction électronique.
WIEMANN	T	Chimie organique et structurale.
JACQUINOT	T	Spectroscopie et physique céleste.
VASSY	T	Physique de l'atmosphère.
DESTOUCHES	T	Théories physiques.
PRUVOST	T	Géologie.
AMIEL	T	Chimie générale.
HOCART	T	Minéralogie.
J. P. MATHIEU	T	Physique (Orsay)
COUTEAUX	T	Biologie animale (P. C. B.).
MAY	T	Zoologie (Orsay).
CHOQUET	T	Théorie des fontions et Topologie.
FELDMANN	T	Biologie végétale marine
GUINIER	T	Physique des solides.
JOST	T	Physiologie comparée.
FORTET	T	Calcul des problèmes et physique math.
SCHWARTZ	T	Calcul différentiel et intégral.
CHOUARD	T	Physiologie végétale.
MALAVARD	T	Aviation
BRELOT	T	Calcul différentiel.
NORMANT	T	Synthèse organique.
BENARD	T	Chimie minérale.
BUVAT	T	Botanique (E. N. S.).
DUGUÉ	T	Statistiques mathématiques.
GELOSO	T	Chimie (S. P. C. N.).
SOULAIRAC	T	Psychophysiologie.
ULRICH	T	Physiologie végétale
MARÉCHAL	T	Optique théorique et appliquée.
KIRRMANN	T	Théories chimiques.
CHADEFAUD	T	Botanique
Mlle LE BRETON	T	Physiologie générale.
SALEM	T	Mathématiques générales
LELONG	T	Mathématiques générales.
DEVILLERS	T	Anatomie et Histologie comparées.
EHRESMANN	T	Topologie algébrique.
FRANÇON	T	Physique (S. P. C. N.).
GLANGEAUD	T	Géogr. physique et Géol. dynamique.
GODEMENT	T	Mathématiques (M. G. P.).
PISOT	T	Tenhniques mathématiques ne la Physique.
ROCHE	T	Géologie.
SCHATZMAN	T	Astrophysique.
TERNIER	T	Paléontologie stratigraphique.
ZAMANSKY	T	Mathématiques générales.
LENNUIER	T	Physique (M. G. P.).
RIZET	T	Génétique.
ROUTHIE	T	Géologie appliquée.
Mme TONNELAT	T	Relativité.
DIXMIER	T	Mathématiques (M. C. P.).
SOUCHAY	T	Chimie générale.
AIGRAIN	T	Électrotechnique générale.
BRUSSET		Chimie minérale.
M. LEVY	T	Physique théorique des hautes énergies.
Mme CHAIX		Chimie biologique.
Mme HUREL-PY		Biologie végétale (P. C. B.).
PIAUX		Chimie (M. P. C.).
BRUN	T	Mécanique expérimentale des fluides.
LEDERER	T	Chimie biologique.
Mme DUBREIL	T	Mathématiques.
Mme LELONG	T	Mathémagiques (E. N. S.).
BELLAIR	T	Géologie (S. P. C. N.).
COTTE	T	Physique (Orsay).
DUBOIS J. E.	T	Chimie organique.
LAMOTTE		Zoologie (E. N. S.).
A. MICHEL	T	Chimie (S. P. C. N.).
OLMER	T	Énergétique générale.
ROUAULT	T	Physique générale.
GAUTHIER	T	Ménanique appliquée.
BARCHEWITZ	T	Chimie physique.
BROSSEL	T	Physique atomique
BUSER		Physiologie comparée.
CAMUS		Physiologie végétale (3e cycle).
CASTAING		Physique générale.
CURIEN		Minéralogie et cristallographie.
MOYSE	T	Physiologie végétale (Orsay).
PANNETIER		Chimie (S. P. C. N.).
POSSOMPES	T	Zoologie.
PULLMANN		Chimie théorique.
TEILLAC		Physique nucléaire et radioactivité.
TONNELAT		Biologie physio-chimique.
VILLE	T	Économétrie.
WILLEMART		Chimie (P. C. B.).
DODÉ	T	Chimie (S. P. C. N.) Orsay.
FREYMANN	T	Physique générale.
GUINOCHET	T	Biologie végétale. (Orsay).
ROLLET	T	Chimie (P. C. B.).
Mlle JOSIEN	T	Chimie (P. C. B.).
CHEVALLEY	T	Géométrie algébrique et théorie des groupes.
ARNOULT	T	Électronique.
CHAPELLE	T	Physique (M. P. C.), (Orsay).
DELANGE	T	Mathématiques (Orsay).
DENY	T	Mathématiques (M. G. P.).
GERAMIN	T	Mécanique théorique des fluides.
G. LUCAS	T	Géologique.
ALLARD		Chimie physique.
BERTHELOT		Physique nucléaire et radioactivité.
BRICARD		Météorologie et physique de l'atmosphère.
Mme ALBE-FESSARD		Psychophysiologie.
FRIEDEL		Physique des Solides.
M. JULIA		Étude des molécules organiques complexes.
LENDER		Biologie animale.(S. P. C. N.) (Orsay).
MAGAT		Physico-chimie des rayonnements.
Mlle QUINTIN	T	Électro chimie.
MONOD	T	Chimie du métabolisme.
BENOIT	T	Physiologie animale.
DE POSSEL	T	Analyse numérique.
CHARLOT	T	Chimie analytique.
HAISSINSKY	T	Radiochimie.
LEMÉE	T	Physiologie B. M. P. V.
GUÉRIN	T	Chimie (M. P. C.)
M. CHATELET		Chimie (S. P. C. N.).
JEAN		Physique nucléaire et radioactivité.
MATTLER		Physique (S. P. C. N.).
L. MICHEL		Physique théorique des hautes énergies.
RUMPF		Chimie (P. C. B.).
BERGERARD		Zoologie (Orsay).
BERTEIN		Électronique.
BOUISSIÈRES		Chimie des radioéléments.
Mme COUTURE		Physique (P. C. B.).
ELLENBERGER		Géologie structurale et Géologie appliquée.
FRANC		Biologie animale.
SCHNELL		Botanique tropicale.
STOLKOWSKI		Physiologie générale.
ACHER		Chimie biologique (Orsay).
BAUDOIN		Biologie animale (P. C. B.).
BEAUMONT		Biologie animale (S. P. C. N.).
BLAMONT		Géophysique ionosphère.
BOURREAU		Biologie végétale (S. P. C. N.) (Orsay).
D. CURIE		Physique (M. G. P.)
DURAND-DELGA		Géologie.
FREON		Chimie (P. C. B.).
HELLE		Physiologie végétale.
TORTRAT		Calcul des probabilités.
CAILLEUX		Géolo ie (S. P. C. N.).
MAGNAN		Physique (M. P. C.).
DAUDE		Mécanique ondulatoire appliquée à la chimie théorique et à la Physique nucléaire.
Mlle FOURCROY		Biologie végétale (S. P. C. N.).

Secrétaire Général . . . R. POULLAIN.

ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS RADIOÉLECTRIQUES SOLAIRES DE TYPE IV ET LEUR RELATION AVEC D'AUTRES PHÉNOMÈNES SOLAIRES ET GÉOPHYSIQUES

par M. PICK-GUTMANN (1)
(Observatoire de Paris-Meudon)

SOMMAIRE. — *L'évolution des sursauts de type IV est très complexe. La première partie de ce travail traite des caractéristiques et de l'évolution des sursauts de type IV. Nous montrons qu'en général un sursaut de type IV est accompagné dans le domaine des ondes centimétriques d'un sursaut important.*

Puis nous distinguons dans l'évolution du rayonnement deux phases dont nous étudions les principales propriétés : directivité, polarisation, variabilité.

Parmi les deuxièmes phases, nous avons remarqué que certaines étaient intenses et de durée exceptionnellement longue : ces phénomènes que nous appelons orages-continuums présentent un ensemble de propriétés très caractéristiques.

Nous étudions ensuite les propriétés des centres d'activité associés aux sursauts de type IV. Nous montrons enfin la relation qui existe entre les sursauts de type IV et les émissions de rayons cosmiques observées au voisinage de la Terre. Quelques interprétations théoriques sont exposées pour terminer.

SUMMARY. — *The evolution of type IV bursts is very complex. The first part of this work treats the characteristic and the evolution of type IV bursts. We show that in general a type IV burst is accompanied by an important burst in the centimeter-wave range.*

We distinguish two phases in the evolution of the radiation. We study the principal properties of each phase : directivity, polarization, and variability.

We have noticed that in some cases the second phase was intense and of exceptionally long duration. We call these phenomena " continuum-storms ". They have a set of characteristic properties.

We then study the properties of centers of activity associated with type IV bursts. We show finally the relation which exists between the type IV bursts and the emissions of cosmic rays observed in the neighbourhood of the earth. In conclusion, some theoretical interpretations are discussed.

Резюме. — Эволюция вспышек типа IV очень сложна. Первая часть настоящей работы посвящена рассмотрению характеристик и эволюции вспышек типа IV. Показывается, что вообще вспышка типа IV сопровождается значительной вспышкой в области сантиметрических волн.

Автор различает в эволюции излучения две фазы и изучает их главные свойства : направленность, поляризацию и переменность.

Автором было замечено, что некоторые из вторых фаз были очень интенсивны и исключительно продолжительны. Эти явления названы им « грозыконтинуум » ; они представляют множество весьма характерных свойств.

Затем изучаются свойства центров активности, связанные со вспышками типа IV. В заключение показана зависимость, существующая между вспышками типа IV и излучением космических лучей наблюденным в окрестностях Земли. Работа завершается некоторыми теоретическими объяснениями.

INTRODUCTION

Plusieurs sortes d'émissions radioélectriques, observées sur ondes métriques, peuvent être rattachées à l'apparition sur le Soleil d'une éruption chromosphérique.

1) *Les sursauts de type II* [1] n'existent que sur ondes métriques et décamétriques. Leur spectre est étroit et dérive des hautes vers les basses fréquences ; leur durée, en général faible, peut atteindre une dizaine de minutes. Leur émission

(1) Ce travail constitue la thèse principale que Mme M. PICK a présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur ès-Sciences Physiques devant la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. La thèse a été soutenue à Paris le 5 décembre 1960 devant un jury composé de MM. KASTLER, résident, DANJON et SCHATZMAN.

peut être rattachée au rayonnement d'oscillations de plasma provoquées par le passage d'une perturbation ou de jets de particules dans la couronne, dont les vitesses sont de l'ordre de 1000 km/s.

2) *Les sursauts de type III* ont des durées de l'ordre de quelques secondes. Ils correspondent aussi à une perturbation ascendante et la vitesse de propagation est ici voisine de celle de la lumière. Le rayonnement des sursauts de type II et III présente peu d'indications de polarisation.

3) *Les sursauts de type IV* identifiés par Boischot [2], sont très aisément rattachables aux éruptions chromosphériques. L'émission commence peu de temps après le début de l'éruption. Observés sur ondes métriques, ils correspondent à un rayonnement intense et très stable. Leur durée peut atteindre deux à trois heures. Le centre de l'émission n'est pas fixe dans l'atmosphère du Soleil.

Au début du phénomène, il semble exister une phase ascendante, et, dans l'hypothèse d'un mouvement radial, Boischot a trouvé des altitudes maxima pouvant atteindre deux à trois rayons solaires, et des vitesses d'ascension de l'ordre de 1000 km/s. Le diamètre équivalent de la source d'émission est en général large de huit à douze minutes d'arc, tout au moins lors du maximum d'intensité.

Le sursaut de type IV, observé par la suite à l'aide de radiospectrographes dans la bande de fréquence 580-100 MHz par F. T. Haddock [3] et par A. Maxwell [4], et dans la bande de fréquence 40-200 MHz par J. P. Wild [5], se présente comme un large continuum.

L'intensité de cette émission sur 169 MHz peut atteindre plus de 100 fois celle du « Soleil calme », c'est-à-dire correspond à des températures de brillance de l'ordre de 10^9 degrés. Boischot et Denisse ont proposé de l'expliquer par le rayonnement synchrotron d'électrons de haute énergie dans un champ magnétique.

4) *Les orages radioélectriques*. Leur origine est encore mal connue. Leur liaison avec des centres d'activité optique est souvent difficile à établir [6]. Miss Dodson [7] et A. M. Malinge [8] ont montré que statistiquement, il était possible d'associer un début ou une recrudescence d'orage à une éruption chromosphérique ; l'intervalle de temps séparant le début des deux phénomènes, optique et radioélectrique, est très variable : il peut atteindre une heure. Cette association est donc beaucoup moins nette que pour les sursauts de type IV.

Les orages ont une durée qui varie de quelques heures à plusieurs jours. Leur rayonnement comprend en proportion variable un continuum et des sursauts brefs, désignés sous le nom de sursauts de type I, d'une durée de l'ordre de quelques dixièmes de seconde.

Nous nous sommes proposés de préciser les caractéristiques et l'évolution des sursauts de type IV. Ceux-ci, tels qu'ils ont été décrits précédemment sur ondes métriques, se présentent essentiellement comme des continuums dépourvus de sursauts de type I. L'examen des cas individuels montre que l'aspect et l'évolution de ces continuums sont en fait très complexes et diffèrent d'un exemple à l'autre. La durée de telles émissions est très variable. Certaines ne persistent qu'une dizaine de minutes, d'autres au contraire se prolongent plusieurs heures.

D'autre part, l'absence *complète* des sursauts de type I n'est pas caractéristique de tous les continuums que l'on peut considérer comme des types IV

De plus, lorsqu'un sursaut de type IV se produit sur un centre d'orage, il peut souvent être délicat de déterminer la contribution exacte des deux sources d'émission.

Enfin, le sens et le degré de polarisation de tels sursauts sont très variables.

De la complexité de ces phénomènes, nous avons essayé de dégager quelques caractères généraux :

Dans la majorité des cas, le sursaut de type IV sur ondes métriques est accompagné, dans le domaine des ondes centimétriques, par un sursaut en général important et d'une durée supérieure à une dizaine de minutes. Kundu avait déjà remarqué ce fait pour quelques exemples. D'une façon générale, il semble que l'on puisse distinguer deux phases dans l'évolution des sursauts de type IV :

— *dans une première phase*, le rayonnement continu se produit sur ondes centimétriques et décimétriques et peut atteindre éventuellement le domaine des ondes métriques ; la durée de cette première phase excède rarement un quart d'heure.

— *la deuxième phase*, au contraire, intéresse essentiellement le domaine des ondes métriques ; le continuum ne s'étend qu'exceptionnellement jusqu'aux ondes centimétriques. Le caractère le plus apparent qui distingue ces deux phases est la directivité de l'émission.

Au cours de l'étude de cette deuxième phase, nous avons constaté dans certains cas l'existence de continuums intenses, de très longue durée, présentant une très faible proportion de sursauts de type I. Ces derniers peuvent parfois être com-

plètement absents et cette situation persiste plusieurs heures ou mêmes plusieurs jours. Puis les sursauts de type I apparaissent de plus en plus nombreux et l'émission s'apparente alors à celle des orages radioélectriques ordinaires. Ces continuums de longue durée présentent un ensemble de propriétés très caractéristiques qui semblent définir une classe de phénomènes distincts des sursauts de type IV que l'on désignera sous le nom *d'orages-continuums.*

La première partie de ce travail est consacrée à l'étude des sursauts de type IV et des orages-continuums.

Le premier chapitre expose les caractéristiques des sursauts centimétriques qui accompagnent le début de l'émission des sursauts de type IV sur ondes métriques. Ceci nous permettra, comme nous le verrons, d'établir un procédé simple d'identification des sursauts de type IV.

Dans le deuxième chapitre, nous examinons les propriétés respectives des première et deuxième phases des sursauts de type IV.

Nous décrivons les propriétés des orages-continuums dans un troisième chapitre.

Dans une deuxième partie nous exposons les propriétés des centres d'activité sur lesquels ont lieu les éruptions chromosphériques qui donnent naissance aux continuums de type IV.

Puis nous montrons qu'il existe une corrélation étroite entre la présence sur le Soleil des centres d'activité associés aux sursauts de type IV, et des centres d'orage radioélectrique.

La troisième partie étudie la relation entre les sursauts de type IV, les orages-continuums et les augmentations du rayonnement cosmique observées au voisinage de la Terre.

Dans une dernière partie, nous envisageons une interprétation théorique des phénomènes observés.

Pour faire cette étude nous avons disposé des enregistrements obtenus à l'aide du grand interféromètre de Nançay fonctionnant sur 169 MHz. Sa période d'observation est limitée à 2 heures par jour. Il permet de localiser les centres radioélectriques et d'en déterminer les diamètres selon la direction Est-Ouest [9].

D'autre part, une antenne à monture équatoriale fonctionnant également sur 169 MHz permet de suivre l'évolution du flux global du Soleil. Un appareil semblable installé à Tahiti par KAZES a complété les heures d'observation au cours de l'Année Géophysique.

Pour étudier le rayonnement sur haute fréquence, nous avons disposé d'un interféromètre à deux antennes à monture équatoriale, fonctionnant sur trois centimètres de longueur d'onde, qui permet de suivre l'évolution du flux global du Soleil et donne également des renseignements sur le diamètre et la polarisation des centres radioélectriques [10].

Enfin, nous avons construit un réseau à 16 antennes fonctionnant également sur 3 cm de longueur d'onde qui permet d'identifier, au moment du passage du Soleil au méridien, les condensations centimétriques [11]. Sa période d'observation quotidienne est d'environ trois quarts d'heure.

Nous avons largement utilisé de nombreuses observations effectuées à l'étranger qui ont été rassemblées par SMERD dans le *Quarterly Bulletin of Solar Activity*, ou qui nous ont été directement communiquées par des stations d'observation, en particulier par :

— Berlin-Adlershof, Allemagne. — Observations à 9400 MHz, 2800 MHz, 1400 MHz.

— Fort-Davis, U. S. A. — Observations spectrographiques : 100 MHz à 580 MHz.

— Humain, Belgique. — Observations à 600 MHz, 169 MHz.

— N. B. S. Boulder, U. S. A. — Observations à 169 MHz.

— Nera, Hollande. — Observations à 2980 MHz, 545 MHz, 200 MHz.

— Ottawa, Canada. — Observations à 2800 MHz.

— Ondrejov, Tchécoslovaquie. — Observations à 536 MHz.

— Sydney, Australie. — Observations à 1420 MHz, 600 MHz.

J'adresse toute ma gratitude à M. J. F. DENISSE qui a dirigé mes travaux et m'a constamment aidée de ses conseils.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les membres du groupe de radioastronomie de l'Observatoire de Meudon, en particulier au groupe solaire (Y. AVIGNON, E. J. BLUM, A. BOISCHOT, A. M. MALINGE, P. SIMON et J. L. STEINBERG) qui ont participé aux observations et m'ont fait profiter de nombreuses discussions.

Je remercie le Professeur DANJON qui m'a accueillie à l'Observatoire de Meudon.

Je tiens à remercier ici les Observatoires qui m'ont fait parvenir des copies d'enregistrements.

PREMIÈRE PARTIE

Étude des sursauts de type IV et des orages-continuums

CHAPITRE I

STRUCTURE DES SURSAUTS DE TYPE IV. ÉXISTENCE DE DEUX PHASES.

A. — Généralités.

Les continuums très caractéristiques qui ont permis à Boischot d'identifier les sursauts de type IV sur 169 MHz étaient pour la plupart des phénomènes très intenses. Il en est de même pour les types IV étudiés par J. P. Wild et D. McLean [5] dans le domaine 200-40 MHz. Les continuums observés par A. Maxwell [4] et F. T. Haddock [3] dans le domaine 580-100 MHz, à l'aide de radiospectrographes, sont moins intenses, mais leurs propriétés apparaissent alors moins nettement définies.

A l'heure actuelle, l'appellation type IV s'applique certainement à un ensemble de phénomènes sans doute assez différents les uns des autres et individuellement très complexes.

Au cours de ces dernières années, nous avons eu l'occasion d'enregistrer sur 169 MHz de nombreux continuums associés à des éruptions généralement importantes et qui sont sans doute à rattacher aussi aux sursauts de type IV. Toutefois, ces continuums présentent des aspects extrêmement variés. Par leur durée relativement longue, ces événements se distinguent nettement des sursauts de type III et II, mais il est souvent difficile de savoir dans quelle mesure ils se différencient d'orages radioélectriques de brève durée.

Pour essayer de préciser la définition que l'on peut donner aux sursauts de type IV, nous nous sommes proposés de rechercher les propriétés caractéristiques de ces sursauts en étudiant d'abord leur spectre. Il semble *a priori* que les spectrographes dynamiques soient les instruments les mieux adaptés pour faire cette étude ; malheureusement, ces instruments ne couvrent à l'heure actuelle que des bandes de fréquences relativement restreintes qui montent rarement au delà de 600 MHz ; d'autre part, leur sensibilité varie dans de très grandes proportions d'une bande de fréquence à une autre, et s'ils permettent d'obtenir des indications qualitatives très précieuses, ils se prêtent mal à des mesures absolues. Pour ces raisons, nos études spectrales ont utilisé des enregistrements effectués sur fréquences discrètes obtenus par différents Observatoires.

Nous allons montrer l'aspect varié des sursauts que l'on classe dans la catégorie des types IV à l'aide de quelques exemples, dont les enregistrements sont reproduits sur les figures 1*a*, 1*b* et 1*c*.

1) 28 *août* 1958 (fig. 1*a*). — Une éruption chromosphérique d'importance 2+ a été observée de 10.25 T. U. à 10.45 T. U., à environ 18°S — 67°W. Le phénomène radioélectrique associé correspond à un sursaut de type IV de durée relativement

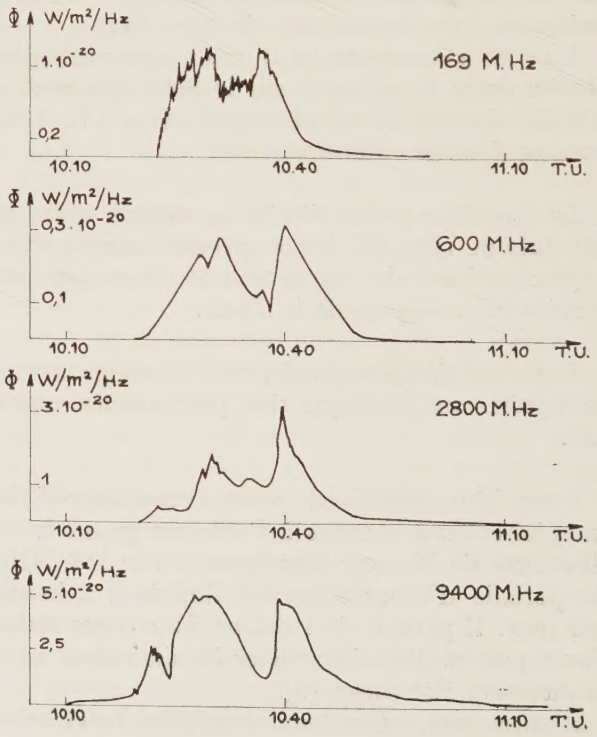


Fig. 1*a*. — Sursaut de type IV du 28 août 1958 : observations sur différentes fréquences.

courte de l'ordre d'une demi-heure. L'émission se développe sensiblement de façon simultanée et analogue dans tout le domaine de fréquences exploré entre 9400 MHz et 169 MHz. L'intensité du continuum décroît des hautes vers les basses fréquences.

2) 14 *novembre* 1956 (fig. 1*b*). — Une éruption chromosphérique d'importance 3 a débuté à 10.31 T. U. à environ 20°S-56°W et a duré jusqu'à

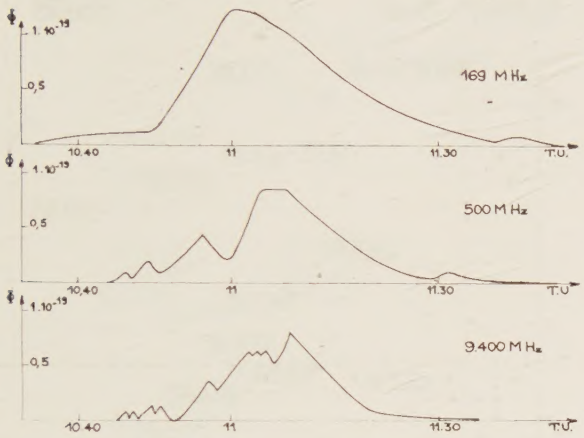


FIG. 1*b*. — Sursaut de type IV du 14 novembre 1956 : observations sur différentes fréquences.

14 T. U. Là encore le phénomène radioélectrique est simultané sur toutes les fréquences, mais la durée est beaucoup plus longue que dans le cas précédent. Le rayonnement sur ondes métriques est polarisé circulairement. L'intensité maxima est comparable sur toutes les fréquences. De tels sursauts d'aussi longue durée et d'aussi grande intensité sur ondes centimétriques sont exceptionnels. KUNDU a mesuré sur 3 cm de longueur d'onde les diamètres des sources d'émission et a trouvé des valeurs de l'ordre de plusieurs minutes d'arc.

3) 28 *juin* 1957 (fig. 1*c*). — Une éruption chromosphérique d'importance 3 et de coordonnées héliographiques 10°N-26°E observée de 12.28 T. U. à 13.15 T. U. a donné une émission radioélectrique qui comprend deux parties :

— une première simultanée sur toutes les fréquences depuis 9400 MHz jusqu'à 169 MHz a lieu entre 12.25 T. U. et 12.35 T. U. ;

— la deuxième n'intéresse que le domaine des ondes décimétriques et métriques. Elle est de durée beaucoup plus longue que la première partie, et suivant les fréquences sur lesquelles elle est observée, son aspect est très différent : à la fréquence 545 MHz, elle comprend un continuum à 3 maximums distincts et de durée bien définie, tandis qu'à la fréquence 169 MHz, le flux croît régulièrement à partir de 12.50 T. U., puis reste élevé jusqu'à 15 T. U. environ.

Un caractère commun se dégage néanmoins de ces trois exemples : l'émission de type IV est accompagnée d'un sursaut important sur hautes fréquences. Ceci avait déjà été noté par KUNDU

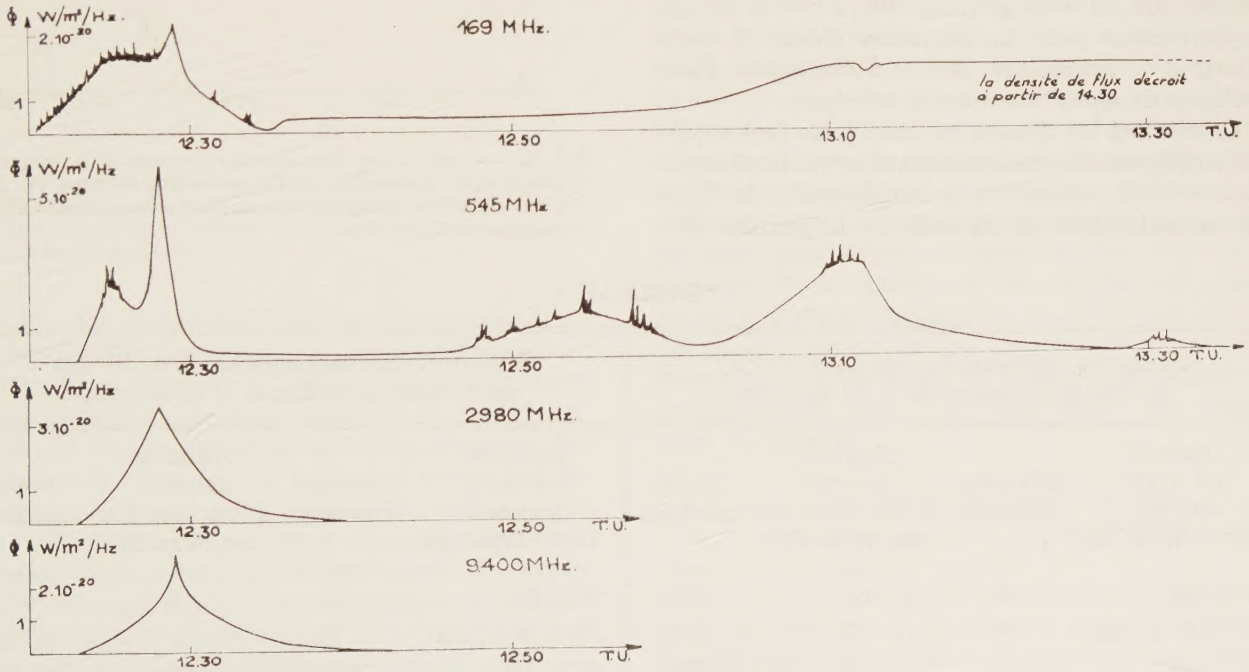


FIG. 1*c*. — Sursaut de type IV du 28 juin 1957 ; observations sur différentes fréquences.

dans quelques cas [10]. Nous allons montrer dans ce qui suit que cette propriété est générale : c'est une caractéristique de la majorité des sursauts de type IV.

B. — Émissions sur hautes fréquences associées aux sursauts de type IV.

Pour préciser la relation entre sursauts de type IV et émissions centimétriques, nous allons considérer l'ensemble des sursauts centimétriques caractérisés par leur intensité maxima et par la durée de leur rayonnement.

Nous avons relevé tous les sursauts centimétriques ayant eu lieu pendant des périodes choisies au cours des années 1957 et 1958, en nous limitant aux heures pour lesquelles les enregistrements du rayonnement global du Soleil sur 169 MHz avaient été effectuées à la Station radioastronomique de Nançay. Ces sursauts ont été enregistrés par les Stations radioastronomiques de Néra, Ottawa et enfin celle de Nançay.

Notons que la détermination de la durée d'un sursaut centimétrique peut être délicate, le retour au niveau initial d'abord rapide étant souvent suivi d'une phase décroissante lente : le « post-burst » [10] ; nous avons négligé cette dernière partie dans l'évaluation approximative de la durée.

Nous avons alors constaté que la quasi totalité des sursauts qui correspondent à une durée supérieure à dix minutes et une densité de flux maxima supérieure à 200.10^{-22} *W/m²/Hz et* 100.10^{-22} *W/m²/Hz respectivement pour les longueurs d'onde* 3 *centimètres et* 10 *centimètres, étaient accompagnés d'une émission de type IV sur ondes métriques.*

Ce résultat est illustré sur les figures (2*a*) et (2*b*) qui correspondent aux sursauts observés sur 3 centimètres et 10 centimètres de longueur d'onde. Tous les sursauts observés au cours de la période citée plus haut sont figurés par un point dont l'ordonnée représente la densité de flux maxima Φ (exprimée en 10^{-22} W/m²/Hz) et l'abscisse la durée D (exprimée en minutes). Nous avons indiqué et encadré les dates des sursauts pour lesquels nous étions certains qu'ils étaient accompagnés d'un continuum sur ondes métriques. L'examen de ces figures montre clairement cette association qui apparaît

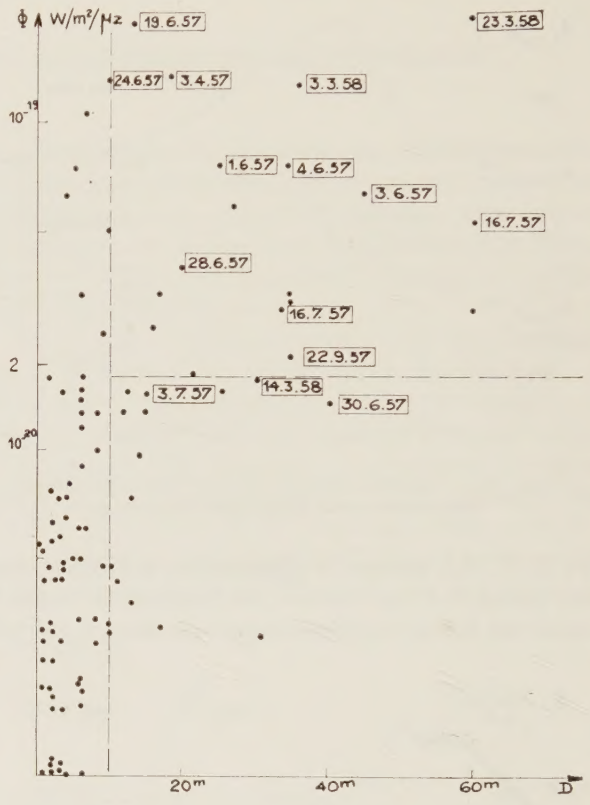


Fig. 2*a*. — Association des sursauts observés à la longueur d'onde trois centimètres et des émissions de type IV. Les dates encadreés indiquent les sursauts accompagnés d'une émission de type IV.

TABLEAU I

Sursauts centimétriques (λ = 10 cm) de durée inférieure a 10 minutes				Sursauts centimétriques (λ = 10 cm) de durée supérieure a 10 minutes			
Densité de flux maxima 10^{-22} W/m² Hz	Nombre observé	Nombre associé a un sursaut de type IV	Pourcentage	Densité de flux maxima 10^{-22} W/m²/Hz	Nombre observé	Nombre associé a un sursaut de type IV	Pourcentage
$\Phi \leqslant 50$	40	1	2 %	$\Phi \leqslant 50$	5	0	0 %
$50 < \Phi \leqslant 100$	20	0	0 %	$50 < \Phi \leqslant 100$	7	3	43 %
$\Phi > 100$	20	5	25 %	$\Phi > 100$	16	14	88 %

plus nettement sur 10 cm que sur 3 cm de longueur d'onde.

Il semble que la durée du sursaut soit le facteur principal. En effet, des événements de longue durée et d'intensité relativement faible peuvent être accompagnés de types IV (22 septembre 1958-19 juin 1958-20 décembre 1958). Afin de préciser l'importance de ce paramètre, nous avons distin-

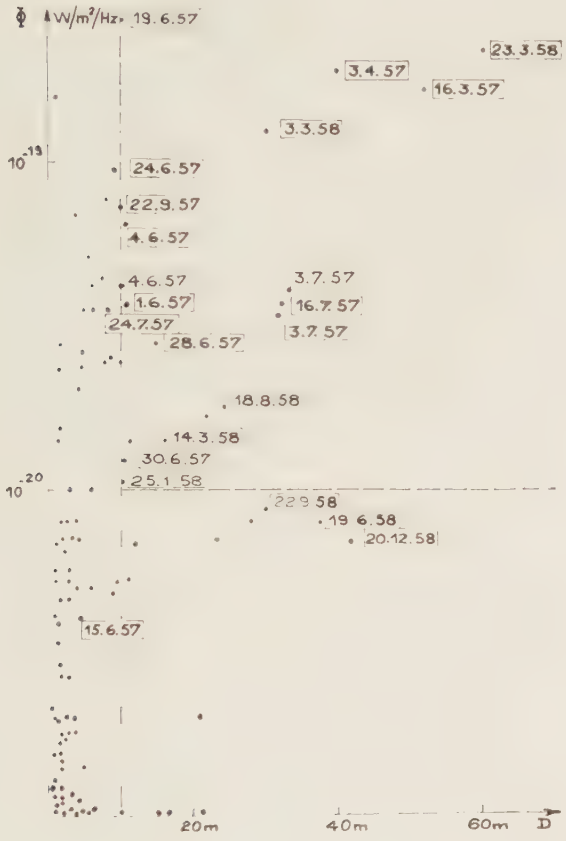


FIG. 2*b*. — Association des sursauts observés à la longueur d'onde dix centimètres et des émissions de type IV. Les dates encadrées indiquent les sursauts accompagnés d'une émission de type IV.

gué sur dix centimètres de longueur d'onde deux catégories d'émission suivant que leur durée était inférieure ou supérieure à dix minutes et examiné séparément pour les deux catégories la probabilité pour que de tels phénomènes soient associés à des sursauts de type IV. Le tableau I rassemble les résultats. L'examen de ce tableau montre que l'on obtient une liaison entre les continuums métriques et les sursauts centimétriques si ceux-ci sont caractérisés par le produit de leur densité de flux maxima Φ par leur durée D, c'est-à-dire approximativement par l'énergie rayonnée que nous exprimerons en $J/m^2/Hz$.

Nous résumons cette étude en admettant qu'un sursaut dont l'énergie approximative rayonnée sur dix centimètres de longueur d'onde est supérieure à 10^{-17} *$J/m^2/Hz$ ($D = 10$ m. $\Phi = 200\ 10^{-22}$ $W/m^2/Hz$ par exemple), a une grande probabilité d'être associé à un sursaut de type IV.*

Nous avons alors utilisé ce résultat pour dresser une liste des sursauts de type IV depuis juin 1956 jusqu'à mars 1960. 168 événements ont été ainsi sélectionnés. La liste établie est certainement incomplète : en effet, des types IV associés à des sursauts centimétriques relativement peu énergiques peuvent ne pas avoir été retenus. D'autre part, il existe quelques continuums sur ondes métriques, une douzaine au cours de la période étudiée, qui ne correspondent à aucun phénomène radioélectrique sur ondes centimétriques. Il est d'ailleurs souvent difficile de les distinguer des recrudescences d'orages radioélectriques ordinaires ; ces événements sont en général associés à des éruptions chromosphériques d'importance I ; peut-être s'agit-il de phénomènes peu énergiques ? nous ne les avons pas retenus, bien que rien ne nous permette de les distinguer sans ambiguité des sursauts de type IV. Certains sursauts centimétriques importants, enfin, peuvent exceptionnellement n'être associés à aucun type IV sur ondes métriques. Néanmoins, cette liste des sursauts de type IV est certainement très représentative.

On peut conclure en disant qu'en général, l'émission de type IV correspond à un rayonnement intense dans le domaine des ondes centimétriques. Cette représentation des phénomènes se trouve justifiée par les résultats obtenus par la suite. Nous verrons, en effet, que la mesure de l'importance d'un type IV par le rayonnement dans le domaine des ondes centimétriques s'avère très significative.

Notons que les caractéristiques spectrales des sursauts centimétriques sont encore très mal connues. Nous montrerons dans ce qui suit, que, quand il y a une émission de type IV, une partie du sursaut centimétrique est de même nature. Mais, il est évident que la totalité des émissions centimétriques n'est pas identifiable aux émissions de type IV.

C. — Existence de deux phases dans les sursauts de type IV.

Nous venons d'établir que la majorité des sursauts de type IV était précédée ou accompagnée lors du début de l'émission d'un sursaut important dans le domaine des ondes centimétriques. Nous

avons également montré sur quelques exemples, l'aspect varié que pouvaient présenter les continuums de type IV lorsqu'on les observe dans le domaine des ondes métriques et décimétriques :

— Certains types IV d'aspect sensiblement analogue, sont simultanés et de *même durée* dans tout le spectre exploré des *ondes métriques aux ondes centimétriques* (28 août 1958, fig. 1*a*). Les durées de ces sursauts sont alors relativement courtes, ne dépassant pas l'ordre d'une heure en général. Seulement, pour quelques cas exceptionnels, la durée est extrêmement longue, pouvant atteindre deux ou trois heures. On peut se demander d'ailleurs si ces quelques sursauts ne sont pas à distinguer des précédents quant à l'évolution du rayonnement.

— D'autres types IV présentent en outre une partie bien distincte sur ondes métriques qui ne s'étend jamais au delà des ondes décimétriques. Cette partie est de durée et d'aspect très variable d'un exemple à l'autre.

Pour expliquer l'aspect varié des continuums de type IV nous avons tenté de voir si ces derniers cas ne correspondaient pas à plusieurs phénomènes de nature différente. Nous allons montrer que l'on peut distinguer deux phases dans l'évolution des sursauts de type IV : dans une première phase, le rayonnement continu se produit toujours sur ondes centimétriques et décimétriques, et peut atteindre le domaine des ondes métriques. La deuxième phase se produit essentiellement sur ondes métriques.

Le caractère le plus évident qui distingue ces deux phases est la directivité de l'émission : en effet, alors que les premières phases des continuums de type IV sont observables pour des longitudes héliographiques quelconques de l'éruption chromosphérique associée, il n'en est pas de même des deuxièmes phases. Plus précisément, nous allons montrer dans ce qui suit que l'existence de la deuxième partie du rayonnement des continuums de type IV *dépend très nettement de la position sur le disque solaire de l'éruption chromosphérique associée.*

Notons que lorsque cette deuxième phase existe, il est souvent très délicat d'y distinguer la contribution de la première phase ; en outre, cette pre-

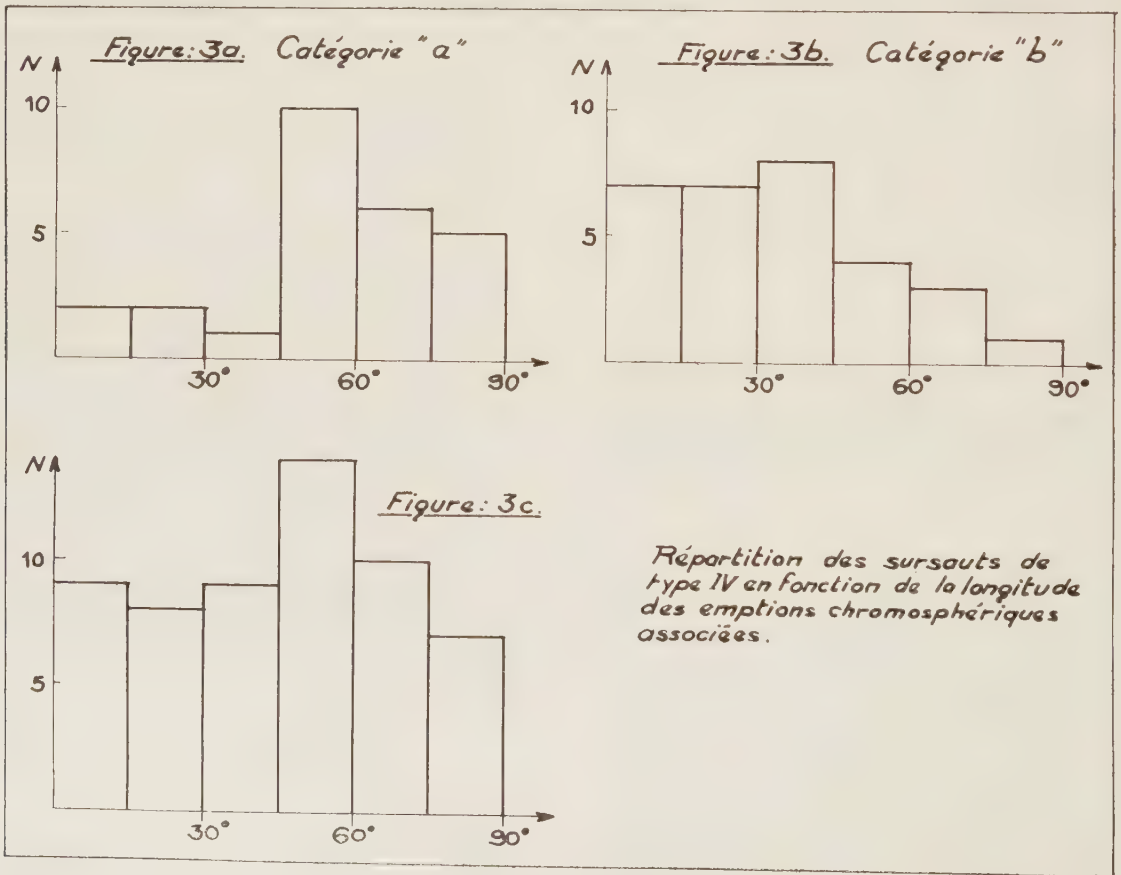


Fig. 3*a*. — Événements de durée analogue des ondes centimétriques aux ondes métriques (catégorie « A »).
Fig. 3*b*. — Événements qui présentent un prolongement bien distinct sur ondes métriques (catégorie « B »).
Fig. 3*c*. — Ensemble des événements des catégories « A » et « B ».

mière phase peut être parfois superposée à un sursaut de type II qui prend naissance souvent au début de l'émission sur ondes métriques (2), et son spectre peut également ne pas s'étendre vers les basses fréquences.

Répartition sur le disque solaire des éruptions chromosphériques associées aux sursauts de type IV : directivité de la seconde phase.

Nous n'avons retenu que les cas où nous possédions des enregistrements sur ondes métriques et sur ondes centimétriques et avons alors classé les phénomènes en deux catégories :

— Dans la première catégorie « A » sont classés des événements de durée analogue des ondes centimétriques aux ondes métriques. Nous avons ainsi sélectionné, pour la période étudiée, 25 cas.

— Dans la deuxième catégorie « B » se trouvent tous les événements qui présentent *un prolongement bien distinct sur ondes métriques*. 31 cas ont été classés dans cette seconde catégorie. La liste de ces événements sera donnée en annexe.

Pour les 25 événements de la catégorie « A » et pour les 31 événements de la catégorie « B » nous avons pu déterminer l'éruption chromosphérique associée. Sur les figures (3*a*) et (3*b*) qui intéressent respectivement les catégories « A » et « B », nous donnons en fonction de leur longitude héliographique, Est ou Ouest, le nombre d'éruptions chromosphériques associées aux sursauts de type IV.

Nous voyons que les éruptions chromosphériques de la catégorie « A », ont une tendance très nette à être situées sur le bord du disque solaire. 20 d'entre elles, soit une proportion de 80 %, sont situées au-delà de 45 degrés de longitude. Par contre, nous avons une plus grande probabilité d'observer des événements qui présentent une phase distincte sur ondes métriques (catégorie « B »), s'ils sont associés à des éruptions chromosphériques de faible longitude ; 74 % des éruptions chromosphériques qui concernent la catégorie « B » sont en effet situées à des longitudes inférieures à 45 degrés.

Ceci montre que le sursaut de type IV doit grouper deux phénomènes de nature différente : une première phase qui ne présente aucune directivité intéresse un domaine spectral qui s'étend des ondes métriques aux ondes centimétriques ; une deuxième phase beaucoup plus directive s'observe plus particulièrement sur ondes métriques ; quand l'éruption a lieu au centre du disque, les deux phénomènes peuvent être observés, alors que pour une éruption près du limbe, en général, seule la première partie non directive est observable.

L'effet directif de la deuxième phase est analogue à celui observé pour les centres d'orage radioélectrique ordinaire. Ceci semblerait indiquer que le rayonnement de cette deuxième phase serait de nature différente de celui qui aurait lieu au début de l'émission (ce rayonnement ne présentant aucun effet directif).

En effet, il est remarquable, que la visibilité de l'ensemble de sursauts de type IV tels que nous les avons choisis (rayonnement visible sur ondes métriques) ne présente aucune directivité ; la figure 3*c*, sur laquelle nous donnons en fonction de leur longitude héliographique Est ou Ouest le nombre d'éruptions chromosphériques associées à un sursaut de type IV, qu'il soit « A » ou « B », montre clairement cette propriété : on observe en effet autant d'émissions sur le bord qu'au centre du disque solaire. Nous reviendrons sur l'interprétation théorique de ces phénomènes dans la quatrième partie.

CHAPITRE II

PROPRIÉTÉ DES PREMIÈRE ET DEUXIÈME PHASES DES SURSAUTS DE TYPE IV

Dans le chapitre précédent, nous avons distingué deux phases dans l'émission des sursauts de type IV. Nous avons vu que l'existence de la deuxième phase (rayonnement limité aux ondes métriques et décimétriques) dépendait de la position sur le disque solaire de l'éruption chromosphérique associée.

Nous allons maintenant d'abord préciser quelques propriétés de la première phase en étudiant le spectre et la polarisation du rayonnement. Puis nous montrerons que l'importance du rayonnement de la première partie intervient aussi sur la probabilité d'apparition de la seconde phase.

Nous mettrons en évidence enfin une autre caractéristique de cette deuxième phase : la faible proportion de sursauts de type I que présente le rayonnement.

A. — Caractéristiques de la première phase.

1° *Spectre*

Le phénomène débute sensiblement au même instant sur toutes les fréquences. Son allure semble approximativement analogue d'une fréquence à une autre ; le spectre de ces émissions varie de façon importante d'un exemple à l'autre. Nous avons tenté de déterminer les spectres des différents sursauts de type IV pour lesquels seule la première phase existe ; pour ceci nous avons mesuré les densités de flux maxima rayonnées sur différentes fréquences. L'ensemble de ces spectres est reproduit sur la figure 4 où nous avons porté en ordonnée la densité de flux du maximum rayonnée à la fréquence indiquée en abscisse ; l'échelle des fréquences est logarithmique. La densité de flux rayonnée par certains sursauts de type IV peut présenter plusieurs maximums ; nous avons alors tracé, dans ces quelques cas, le spectre de chaque maximum, en notant l'heure correspondante.

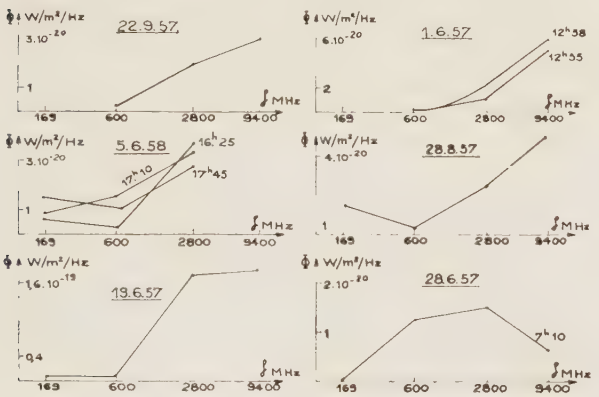


Fig. 4. — Spectre de différents sursauts de type IV (première phase).

Malgré la très grande variété de ces courbes, nous voyons néanmoins qu'en moyenne le spectre décroît des hautes vers les basses fréquences. Ce résultat est analogue à celui trouvé par Hachenberg qui avait considéré tous les sursauts centimétriques importants [12] et à celui trouvé par Takakura [13].

2° *Polarisation*

Nous avons obtenu des renseignements sur la polarisation, *mesurée sur* 200 *MHz* [34], pour 16 sursauts de la catégorie « A » et la première phase de 2 sursauts de la catégorie « B ». 10 sursauts ne sont pas polarisés ; les 8 autres sont polarisés circulairement ; le pourcentage de polarisation est en général faible ; le sens de la polarisation est alors variable d'un exemple à l'autre. On peut se demander si ce sens dépend de la position sur le disque solaire du centre optique sur lequel a lieu l'éruption chromosphérique associée. A cet effet, sur la figure 5, nous avons indiqué la position de chaque éruption chromosphérique associée à un sursaut de type IV, pour lequel nous avions des renseignements sur la polarisation. Les longitudes Est ou Ouest ont été portées en abscisse sur le même demi-axe ; en ordonnée sont portées de part et d'autre de l'origine des axes les latitudes Nord et Sud.

Fig. 5. — Polarisation des premières phases des sursauts de type IV en fonction de la position sur le disque solaire de l'éruption chromosphérique associée.
○ Sens de polarisation droit.
* Sens de polarisation gauche.
+ Polarisation nulle.

— On peut noter d'abord sur cette figure que tous les sursauts complètement dépolarisés correspondent à des éruptions chromosphériques situées au-delà de 45 degrés de longitude héliographique.

— D'autre part, les sursauts qui présentent un taux de polarisation non négligeable, correspondent à l'exception d'un, à des éruptions chromosphériques dont la longitude héliographique est inférieure à 60 degrés.

Notons enfin que pour 3 sur 4 des sursauts polarisés circulairement, situés dans l'hémisphère Sud, le sens de la polarisation est gauche, alors que le sens de la polarisation est droit pour 3 sur 4 des sursauts situés dans l'hémisphère Nord. Remarquons que pour ces quelques cas, le sens de la polarisation est inverse de celui trouvé par A. M. Malinge [14] pour le rayonnement des orages radioélectriques ; la polarisation de ce rayonnement correspondrait alors à l'onde *extraordinaire* si l'on se réfère au champ magnétique de la tache de tête des groupes bipolaires associés.

Ces mesures sont trop peu nombreuses pour conclure que les propriétés que nous venons de

signaler soient générales et cette interprétation est simplement donnée à titre indicatif.

Il serait intéressant enfin de voir si les sursauts de type IV observés sur ondes centimétriques présentent un sens de la polarisation privilégié suivant l'hémisphère dans lequel se situe l'éruption chromosphérique associée.

B. — Propriétés de la deuxième phase.

1° *Relation avec l'importance du rayonnement de la première phase.*

Nous avons déjà mesuré l'importance des sursauts de type IV par l'énergie exprimée en 10^{-17} J/m²/Hz, qu'ils rayonnent au voisinage de la longueur d'onde 10 cm. Nous allons montrer que plus l'importance du sursaut centimétrique est grande, plus grande est la probabilité d'observer l'existence de la deuxième phase. Pour faire cette étude nous disposons des 56 sursauts centimétriques, déjà sélectionnés dans le premier chapitre, pour lesquels nous avons pu vérifier effectivement l'existence d'un continuum sur ondes métriques. Rappelons que 25 sursauts font partie de la catégorie « A » (sur ondes métriques seule la première phase existe), et 31 de la catégorie « B » (la deuxième phase existe également).

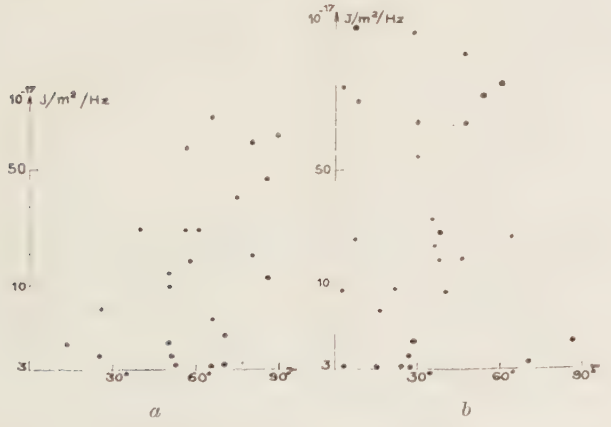


Fig. 6*a*. — Catégorie « A » : événements de durée analogue des ondes métriques aux ondes centimétriques.

Fig. 6*b*. — Catégorie « B » : événements qui présentent un prolongement bien distinct sur ondes métriques.

Distribution de la densité d'énergie rayonnée mesurée dans le domaine des ondes centimétriques par les sursauts de type IV selon la longitude Est ou Ouest de l'éruption chromosphérique associée.

Il faut noter tout d'abord que pris dans leur ensemble, 55 % des sursauts sont suivis d'une deuxième phase.

Pour montrer que l'importance de l'énergie rayonnée dans le domaine des ondes centimétriques intervient dans la probabilité d'apparition de la deuxième phase, nous avons tracé deux figures (6*a*) et (6*b*) qui concernent respectivement les catégories « A » et « B » ; sur ces figures, tous les sursauts sont représentés par un point dont l'ordonnée est égale à l'énergie rayonnée sur 10 cm de longueur d'onde et dont l'abscisse est la longitude héliographique Est ou Ouest de l'éruption chromosphérique associée. Si l'on ne retient par exemple que les 14 sursauts dont l'énergie rayonnée est supérieure à 50-10^{-17} J/m²/Hz, nous voyons sur ces figures que 4 seulement font partie de la catégorie « A » ; pour ces sursauts intenses, la fréquence d'apparition de la deuxième phase est donc de 71 % au lieu de 55 % si nous considérons l'ensemble des sursauts.

On remarque enfin que les 4 sursauts qui font partie de la catégorie « A », c'est-à-dire ceux qui sont intenses mais sans seconde phase, sont associés à des éruptions chromosphériques situées au-delà de 55° de longitude héliographique, résultat conforme à l'effet de directivité établi précédemment pour la seconde phase.

2. — *Variabilité de la deuxième phase.*

En général, le rayonnement de la deuxième phase ne présente que très peu de sursauts de type I ; ces derniers qui caractérisent les orages ordinaires sont rares ou de faible intensité. Ils peuvent même être complètement absents.

Nous allons illustrer cette propriété en caractérisant les 31 deuxièmes phases citées plus haut, par le rapport V de l'amplitude moyenne des sursauts de type I à celle du continuum et en comparant ces mesures à celles obtenues pour 31 débuts d'orage ordinaire choisis au hasard. Pour ceci, nous avons porté sur la figure 7, en ordonnées, le nombre N des événements qui correspondent à une valeur de V indiquée en abscisse. La courbe en trait plein correspond aux sursauts de type IV, et la courbe

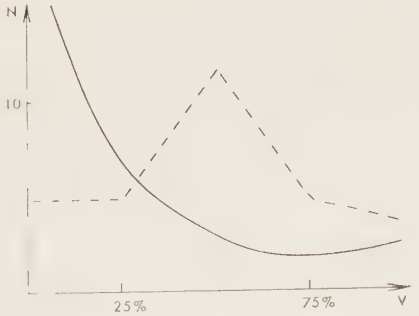


Fig. 7. — Variabilité de la deuxième phase des sursauts de type IV (———) comparée à celle des orages radioélectriques ordinaires (— — —).

en pointillés aux débuts d'orage radioélectrique ordinaire. La comparaison de ces deux courbes montre clairement que la majorité des continuums de type IV correspond à une faible valeur de V.

En définitive, la faible proportion ou l'absence totale des sursauts de type I, sur les continuums de type IV n'est pas une propriété caractéristique de ces phénomènes, mais, en moyenne, elle est significative.

En conclusion, la deuxième phase des sursauts de type IV, s'apparente aux orages radioélectriques par son spectre limité aux ondes métriques et décamétriques, par la directivité de son émission, mais elle s'en distingue par le fait que son rayonnement est essentiellement un continuum dépourvu de sursauts de type I.

Nous ne pouvons, malheureusement, préciser davantage l'étude de cette deuxième phase. Nous n'avons, en effet, pour l'instant, que des observations trop incomplètes pour étudier de façon précise les propriétés des sources d'émission : diamètre, altitude, polarisation. Rappelons ici, simplement, 2 résultats établis par Boischot [6] :

— La source de l'émission de type IV peut atteindre des altitudes maxima de l'ordre de deux rayons solaires, puis dans l'hypothèse d'un mouvement radial, redescend lentement en des temps très variables, d'un exemple à l'autre, jusqu'à des altitudes qui peuvent être de l'ordre de 0,3 rayon solaire.

— Le diamètre de la source d'émission, mesuré peu de temps après le début du phénomène, lorsque l'intensité a atteint son maximum est de l'ordre de huit à douze minutes d'arc.

Nous reviendrons sur ces résultats dans la dernière partie de ce travail.

Parmi ces continuums, néanmoins, certains sont particulirement intenses, de durée *exceptionnellement* longue pouvant atteindre plusieurs jours, et, dont la densité de flux du rayonnement ne semble pas décroître régulièrement comme dans de nombreux exemples : ces derniers présentent alors un ensemble de propriétés générales très caractéristiques. Il est possible même qu'ils forment une classe de phénomènes distincts des sursauts de type IV ; de toute façon, on possède sur ces événements particuliers de nombreux renseignements (polarisation, position et diamètre des sources d'émission...) qui justifient une étude à part.

Nous avons distingué ces émissions que nous allons étudier dans un chapitre séparé, et les avons appelées « *orages-continuums* ».

CHAPITRE III

ÉTUDE DES ORAGES-CONTINUUMS

Parmi les sursauts de type IV, nous avons observé 18 continuums qui semblent se prolonger de façon anormalement longue. Nous allons exposer les principales propriétés qui se dégagent de l'étude de ces continuums.

1) *Évolution du rayonnement.*

L'intensité du rayonnement demeure intense au cours de toute la durée de l'orage-continuum. La densité de flux émise sur 169 MHz peut être supérieure à 10^{-19} watts/m^2/Hz, mais peut présenter des variations parfois assez importantes qui ne semblent associées à aucune éruption chromosphérique.

D'autre part, au rayonnement global, se superposent très souvent des fluctuations rapides dues à la scintillation solaire ou atmosphérique. Quoique rapides, ces fluctuations ont en effet une durée nettement plus grande que celle des sursauts de type I, et ne peuvent ainsi être confondues avec ces derniers. Le phénomène peut atteindre une très grande amplitude. L'enregistrement interférométrique permet pour cette raison de contrôler plus précisément la proportion des sursauts de type I. Au début, cette proportion est très faible, puis les sursauts de type I apparaissent progressivement et l'émission s'identifie à celle des orages ordinaires. Certains centres d'orage ordinaire prennent ainsi naissance.

L'évolution du rayonnement des orages-continuums est donc essentiellement di érente de l'évolution habituelle des continuums de sursauts de type IV dont l'intensité décroît régulièrement. La figure 8 donne, à titre d'exemple, l'enregistrement interférométrique de l'orage-continuum du 26 août 1958, entre 11.40 T. U. et 13. T. U. A titre de comparaison, nous donnons également l'enregistrement d'un centre d'orage radioélectrique, et celui d'un centre de type IV habituel. Nous remarquons la décroissance régulière du flux de sursaut de type IV.

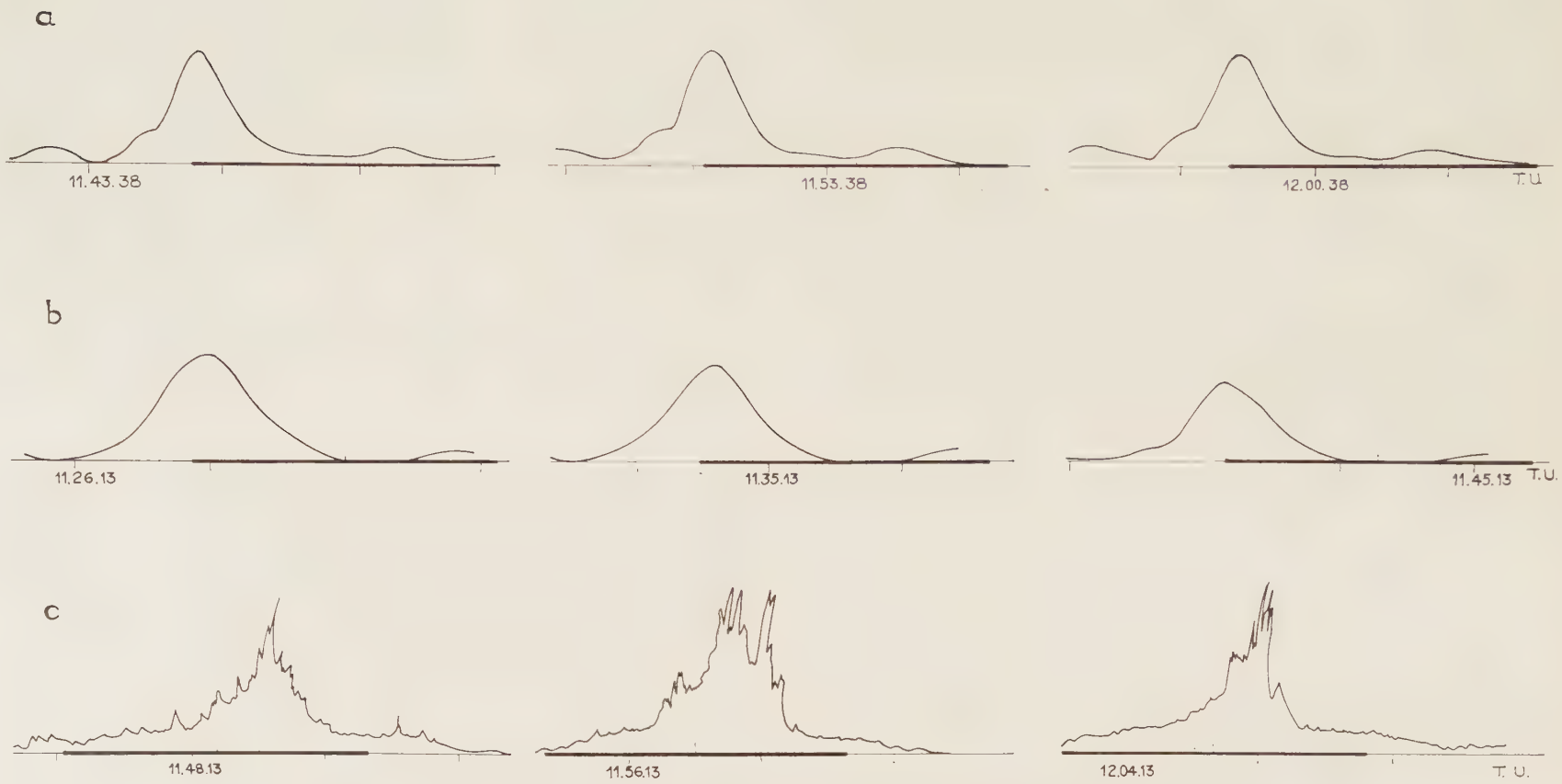


FIG. 8. — *a*) Observation interférométrique de l'orage-continuum du 26 août 1958 sur 169 MHz.
b) Observation interférométrique du type IV du 20 novembre 1956, 1 heure environ après le début de l'éruption chromosphérique.
c) Observation interférométrique d'un orage ordinaire sur 169 MHz ; les traits noirs correspondent au disque photosphérique.

TABLEAU II

Sursauts de type IV			Centres d'orages-continuums			
Date et heure du début (T. U.)	Éruption chromosphérique associée	Énergie rayonnée sur ondes centimétriques 10^{-17} J/m²/Hz	Passage du Soleil au méridien a Nançay. Date d'observation	Densité de flux 10^{-21} W/m²/Hz	Altitude	Diamètre (minutes d'arc)
7-11-1956 11.03	E_3 15S — 30E	55	8-11-1956	6	voisin de la plage d'activité	4
31-8-1957 13.02	E_3 25N — 2W	165	1-9-1957	7	0,2 R ⊙	2 centres proches
16-8-1958 04.48	E_{3+} 12S — 47W	90	16-8-1958	1	0,2 Γ ⊙	2
22-8-1958 14.30	E_3 18N — 8W	130	23-8-1958	7	0,2 R ⊙	2
26-8-1958 00.23	E_3 20N — 54W	135	26-8-1958	5	0,3 R ⊙	3
14-7-1959	F_{3+} 17N — 7E	360	14-7-1959	16		6
29-3-1960 06.55	E_{2+} 12N — 32E	300	29-3-1960	6	0,3 R ⊙	2

Le début de l'émission de l'orage-continuum du 26 août 1958 est associé à une éruption chromosphérique d'importance 3+ dont les coordonnées héliographiques sont 20°N-54°W. Des sursauts de type I apparaissent de plus en plus nombreux à partir de 15.30 T. U. Les caractéristiques de quelques centres d'orage-continuum sont rassemblées dans le tableau II.

2) *Importance des éruptions chromosphériques associées.*

Sur les 18 cas identifiés, nous avons pu déterminer l'importance de l'éruption chromosphérique associée pour 16 d'entre eux : 9 sont d'importance 3 ou 3+, 4 d'importance 2+ et 3 d'importance 2. Il s'agit donc en général de très fortes éruptions. En effet, 56 % d'entre elles sont d'importance 3 et 3+ et 44 % d'importance 2 et 2+, alors que pour l'ensemble des sursauts de type IV, les importances des éruptions chromosphériques associées au cours de la même période, sont distribuées de la façon suivante :

$$E_3\ 30\ \% - E_2\ 47\ \% - E_1\ 23\ \%.$$

3) *Diamètre des sources d'émission.*

Les diamètres équivalents selon la direction Est-Ouest de 13 sources d'émission ont pû être mesurés : 11 sont inférieurs ou égaux à 4 minutes d'arc. Les centres d'orage-continuum sont donc en général très étroits comparés à ceux des sursauts de type IV dont on mesure le diamètre peu de temps après le début de l'éruption. Boischot a en effet trouvé des diamètres compris entre 8 et 12 minutes d'arc [6]. Notons que la faible valeur du diamètre des sources d'orage-continuum explique

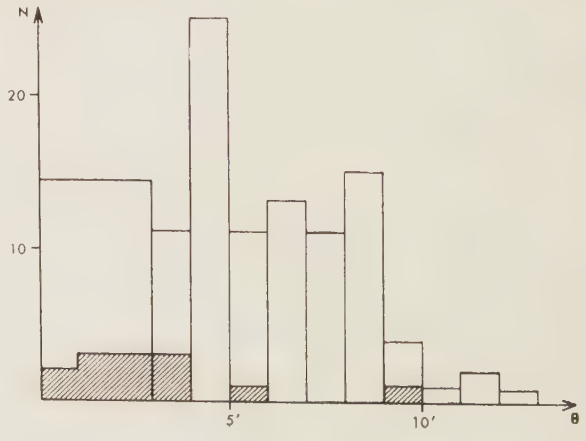


Fig. 9. — ▒ Répartition des diamètres des centres d'orage-continuum.
□ Répartition des diamètres des centres d'activité radioélectrique ordinaire.

que le phénomène de scintillation observé puisse atteindre une grande amplitude.

La distribution de ces diamètres différencie également les orages-continuums des orages radioélectriques ordinaires. A cet effet, sur la figure 9 nous avons comparé l'histogramme qui correspond au nombre de centres d'orage-continuum observés en fonction de leur diamètre équivalent, à celui tracé par Boischot, pour les centres d'orage ordinaire. Ces derniers sont répartis à peu près uniformément entre 0 et 9 minutes d'arc. Par contre, deux seulement des orages-continuums ont des diamètres supérieurs à 4 minutes d'arc.

4) *Polarisation.*

Le rayonnement des orages-continuums est polarisé circulairement. En ce qui concerne les orages ordinaires, A. M. Malinge a montré que le sens de polarisation est différent suivant que le centre se trouve dans l'hémisphère Nord ou Sud [14]. Le sens de polarisation est gauche dans le premier cas et droit dans le deuxième. Il correspond à l'onde ordinaire si l'on considère le champ magnétique de la tache de tête des groupes bipolaires. Le résultat est identique pour les orages-continuums. La figure 10 rassemble les quelques données que nous avons obtenues dans différentes publications.

Fig. 10. — Sens de polarisation des centres d'orage-continuum en fonction de la position sur le disque solaire de l'éruption chromosphérique associée.
○ Sens de polarisation droit.
* Sens de polarisation gauche.

5) *Altitude.*

Nous allons montrer que l'altitude des sources d'émission est en général faible.

Lorsque nous déterminons sur 169 MHz, la position du centre d'orage-continuum, quelques heures après le début de l'éruption, nous n'observons jamais de mouvement ; ces centres sont fixes par rapport au Soleil. Si l'émission persiste plus d'une journée, le centre tourne en même temps que le centre optique sur lequel a eu lieu l'éruption chromosphérique.

La source d'émission de l'orage-continuum est localisée le plus souvent dans une région voisine de la plage active. Il est souvent possible d'admettre qu'elle se situe sur la verticale de l'éruption chromosphérique et dans cette hypothèse, nous pouvons mesurer son altitude. Il faut cependant signaler que cette hypothèse est assez *incertaine.* Nous pouvons néanmoins indiquer un ordre de grandeur moyen des altitudes ; comme l'indique le tableau II, ces centres observés sur 169 MHz semblent situés à des altitudes relativement basses, en moyenne inférieures à 0,4 rayon solaire, que l'on peut comparer à l'altitude moyenne trouvée pour les centres d'orage ordinaire observés par A. M. Malinge (soit 0,7 rayon solaire à la même fréquence), et à celle trouvée pour les sursauts de type IV par Boischot (soit 1 rayon solaire).

6) *Spectre des orages-continuums.*

Nous avons encore trop peu de renseignements pour préciser exactement le spectre des orages-continuums. Néanmoins, il semble que de telles émissions aussi intenses et d'aussi longue durée n'aient jamais été observées au delà de 500 MHz.

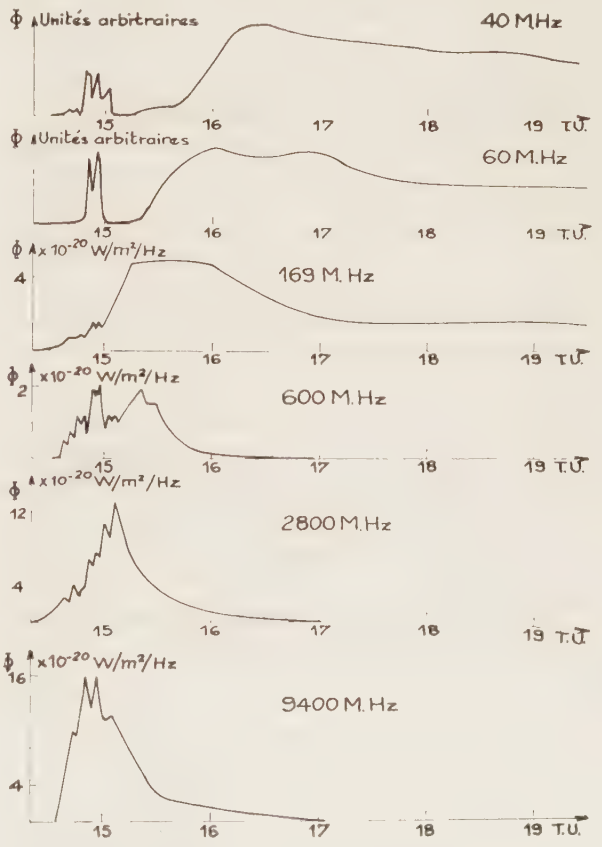


Fig. 11. — 22 août 1958 : observations sur différentes fréquences.

— Pour un exemple, celui du 14 juillet 1959, nous avons pu vérifier que l'orage-continuum était observé sur 340 MHz ; il n'en est pas de même des trois orages-continuums suivants : 3 mars 1958, 30 juillet 1959, 18 août 1959. Il se peut donc que la fréquence de coupure du spectre des orages-continuums se situe aux environs de 340 MHz. Par contre, les orages-continuums s'étendent le plus souvent vers les très basses fréquences. Des continuums de longue durée ont, en effet, été signalés par Wild sur la bande de fréquence 40 MHz-200 MHz (31 août 1957 ; 1er septembre 1957 ; 29-30 mars 1960).

— La figure 11 donne, à titre d'exemple, l'évolution sur différentes fréquences de l'événement du 22-23 août 1958 : ce dernier a déjà été remarqué et commenté par Boischot et J. W. Warwick [15]. Le 22 août 1958, une éruption chromosphérique localisée à 20°N-08°W, d'importance 3+, observée à partir de 14.17 T. U., a donné lieu à un sursaut de type IV ayant débuté sensiblement vers 14.35 T. U., sur les fréquences situées au-dessus de 169 MHz. Sur la figure, nous voyons que, pour les fréquences situées au-dessus de 470 MHz, l'émission se termine aux environs de 16.30 T. U. Au contraire, dans le domaine des ondes métriques et décamétriques, un continuum intense persiste pendant plusieurs heures. Nous avons pu vérifier que ce centre d'orage-continuum s'étendait jusqu'à 18 MHz. Signalons que cet orage-continuum se développe sur un centre radioélectrique important qui existait auparavant et qui présente des caractéristiques analogues à celles des centres d'orage-continuum, quant à son diamètre, son altitude et l'absence des sursauts de type I. Nous n'avons pu néanmoins rattacher la naissance de ce centre à aucune éruption chromosphérique importante, mais nos données sont très incomplètes.

Il est possible que la fréquence 169 MHz, sur laquelle nous avons identifié les orages-continuums, soit trop proche de la fréquence de coupure à laquelle ils ne sont plus observés et qu'il aurait été préférable d'étudier les caractéristiques de cette émission à une fréquence plus basse.

Il faut signaler, enfin, qu'il existe des centres d'émission intenses et *absolument* dépourvus de sursauts de type I (analogues à celui du 22 août 1958 déjà cité) dont nous n'avons pu expliquer l'origine ; quoique peut-être de même nature, nous ne classerons pas, pour l'instant, ces centres dans la catégorie des orages-continuums. Pour une période de 3 ans, parmi les 9 émissions les plus intenses observées à l'interféromètre de Nançay, cinq ont été associées à des éruptions chromosphériques ayant donné naissance à des sursauts de type IV. Le début des 4 autres nous est inconnu ; quoique nos données soient incomplètes, il semble probable qu'elles ne prolongent pas un sursaut de type IV important.

Nous envisagerons plus loin une interprétation théorique des orages-continuums.

DEUXIÈME PARTIE

Éruptions chromosphériques et centres d'activité solaire associés aux sursauts de type IV

Dans la première partie nous avons tenté de mettre en évidence les propriétés et l'évolution des sursauts de type IV. Nous allons maintenant étudier les relations de ces émissions avec d'autres phénomènes solaires ; plus particulièrement, nous allons envisager les rapports des sursauts de type IV avec les éruptions chromosphériques et, d'autre part, les propriétés des centres d'activité qui donnent naissance à ces éruptions.

A. — Éruptions chromosphériques associées aux sursauts de type IV.

Les sursauts de type IV sont toujours précédés par l'apparition d'une éruption chromosphérique. Mais, inversement, toutes les éruptions chromosphériques ne sont pas suivies de sursaut de type IV. Plus l'importance de l'éruption optique est grande, et plus grande est la probabilité d'avoir un sursaut de type IV. Pour la période considérée, nous avons trouvé que 26 % des éruptions d'importance 3 et 3+ étaient associées à des sursauts de type IV, ce pourcentage tombant à 4 % et 0,4 % pour les éruptions d'importance 2 et 1 respectivement. Jusqu'à présent, aucun caractère optique n'a pu être mis en évidence, permettant de distinguer les éruptions donnant une émission radioélectrique de celles qui n'en donnent pas. Si nous considérons les éruptions suivies d'émissions de type IV, les intensités et les durées optiques et radioélectriques ne semblent pas étroitement liées. Statistiquement, les types IV associés aux érup-

tions 3 et 3+ sont les plus intenses, mais la dispersion est très importante.

B. — Propriétés des centres d'activité associés aux sursauts de type IV.

Nous avons souvent noté l'existence de centres d'activité qui sont à l'origine de types IV plusieurs fois au cours de leur passage. Des données sur ces centres, identifiées par leur numéro du *Quarterly Bulletin*, sont réunies dans le tableau III, dans lequel chaque centre est caractérisé par ses coordonnées de Carrington (les axes de référence sont fixes par rapport à la surface solaire).

Ce tableau met en évidence l'existence fréquente de 2 ou 3 centres optiques, distincts et présents en même temps sur le disque solaire, qui donnent plusieurs sursauts de type IV ; ou bien, ils se

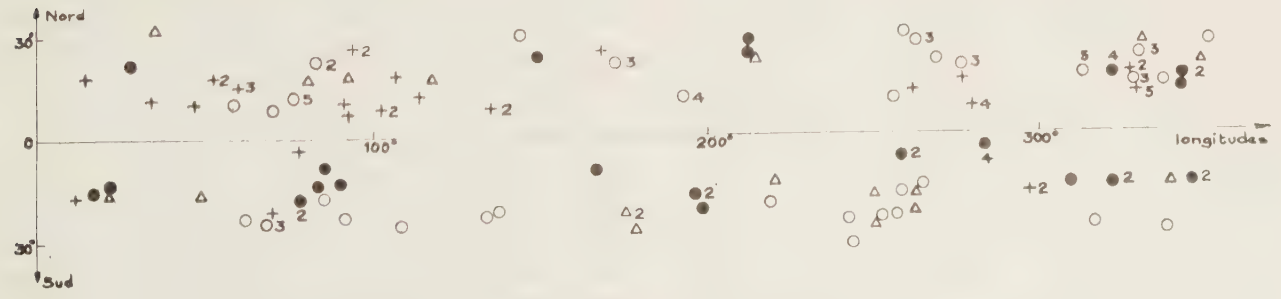
TABLEAU III

Centre	Coordonnées de Carrington	Passage au méridien	Nombre de type IV obs.	Autres centres actifs pendant la même période			
				Centre	Coordonnées	Passage au méridien	Nombre de type IV
34	29N - L262	22,8-4-57	3	33	15S - L265	22,6-4-57	1
74	24N - L330	31,7-8-57	3	73	29S - L338	31,8-8-57	1
				75	15N - L328	31,9-8-57	3
80	11N - L193	11,9-9-57	3				
91	23N - L 83	19,4-9-57	2	93	9N - L70	20,4-9-57	1
				94	10N - L59	21,2-9-57	1
107	13S - L 90	29,1-3-58	3	109	22S - L71	30,6-3-58	1
88	18N - L322	21,9-8-58	4				
20	16N - L330	14,7-7-59	5				

trouvent dans un même hémisphère et assez proches les uns des autres, ou bien ils ont la même longitude, mais se situent de part et d'autre de l'équateur. Étant donné que les types IV sont des événements relativement rares, on peut se demander si ces dispositions particulières ne sont pas l'indice d'une certaine liaison entre ces centres.

Nous avons recherché, en outre, s'il existe sur le Soleil des régions privilégiées dans lesquelles ces émissions de type IV soient fréquentes au cours de plusieurs rotations solaires. A cet effet, nous avons porté en fonction de leurs coordonnées de Carrington, sur la figure 12, tous les centres optiques associés à une émission de type IV. Un centre a été porté autant de fois qu'il a donné naissance à un sursaut de type IV. (A cet effet, le numéro porté à côté de certains centres indique le nombre de sursauts de type IV qui y sont associés.)

Sur la figure 13*a* nous avons tracé la courbe de distribution de ces centres en fonction de leur longitude. Là encore, chaque centre est compté autant de fois qu'il a donné naissance à un sursaut de type IV. Nous pouvons noter que 60 % des



△ 1956, ● 1958, ○ 1957, + 1960.

Fig. 12. — Répartition sur le disque solaire des centres d'activité associés aux sursauts de type IV.

types IV se produisent dans 3 fuseaux privilégiés larges d'environ 30 degrés et de longitude moyenne 75 degrés, 260 degrés, 325 degrés. L'activité persiste dans ces fuseaux pendant de nombreuses rotations solaires. En fait, on peut vérifier que l'existence de tels fuseaux privilégiés ne concerne pas uniquement ce type d'émission, mais est liée à l'activité solaire générale ; en effet, nous retrouvons une courbe de distribution identique à celle de la figure 13*a* si nous considérons maintenant toutes les éruptions chromosphériques d'importance 3 et 3+, qu'elles soient ou non associées à un

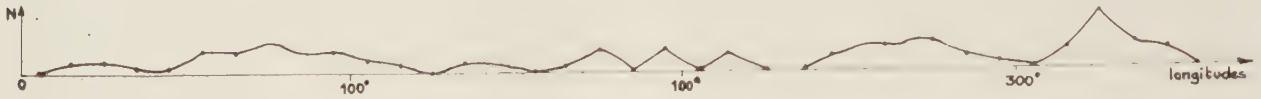


Fig. 13*a*. — Courbe de distribution selon la longitude des centres d'activité associés aux sursauts de type IV.

Fig. 13*b*. — Courbe de distribution selon la longitude des centres d'activité associés aux éruptions chromosphériques d'importance 3 et 3+.

sursaut de type IV, au cours de la période étudiée (fig. 13*b*). Une de ces régions, celle de longitude 325 degrés, est particulièrement remarquable. Son existence a été notée par différents auteurs [16] [17] et son activité persiste depuis plus de 3 ans.

— *Émission sur ondes centimétriques des centres d'activité.*

On sait que les centres d'activité solaire sont associés à des émissions stables observés principalement sur ondes centimétriques : les condensations radioélectriques. Ces émissions ont un caractère permanent et une durée de vie de l'ordre de celle des taches optiques ou des facules [11].

Nous avons construit un réseau qui fonctionne sur 3,2 cm de longueur d'onde et dont nous avons rappelé les caractéristiques précédemment ; ce réseau permet d'observer les condensations radioélectriques et de les localiser selon la direction Est-Ouest. De telles sources d'émission donnent en passant devant les lobes du réseau, des enregistrements tels que celui de la figure 14 ; sur cet enregistrement, nous constatons en particulier la présence de 2 sources :

— d'une part, une condensation intense et de faible diamètre, qui est associée à 5 sursauts de type IV au cours de son passage ;

— d'autre part, un centre de faible intensité et de large diamètre qui n'a donné aucun sursaut de type IV au cours de son passage.

Fig. 14. — Exemple de centres radioélectriques observés à la longueur d'onde trois centimètres. Le trait noir correspond au disque photosphérique.

Nous allons montrer que seuls les centres les plus intenses correspondent à plusieurs sursauts de type IV. Cette étude concerne les 2 périodes suivantes, pour lesquelles nous possédions des enregistrements interférométriques : mars à octobre 1958 et juillet à décembre 1959.

Nous avons caractérisé chaque condensation centimétrique par la densité du flux rayonné. Il faut noter que cette grandeur est difficile à évaluer exactement : en effet, d'une part l'émissivité apparente d'une source est fonction de sa longitude héliographique (la courbe moyenne correspond sensiblement à une loi en cosinus), d'autre part, la densité de flux peut varier de façon importante d'un jour à l'autre avec le caractère éruptif du centre. Aussi, pour pallier à ces difficultés avons-nous caractérisé chaque condensation par la moyenne des densités de flux S intégrées pour les 3 jours consécutifs qui encadrent le passage du centre sur l'axe Nord-Sud du Soleil.

Nous avons alors classé les condensations centimétriques en 3 catégories selon les valeurs S correspondantes, et avons, pour chacune de ces catégories, dénombré les sursauts de type IV associés.

L'examen du tableau IV montre que la fréquence d'apparition des sursauts de type IV est environ 80 fois plus grande pour des centres dont la densité de flux est supérieure ou égale à 60.10^{-22} W/m²/Hz que pour ceux dont la densité de flux S est inférieure à 30.10^{-22} W/m²/Hz. Ceci montre clairement l'association qui existe entre la fréquence d'apparition des sursauts de type IV et l'intensité des condensations centimétriques.

TABLEAU IV

Condensations centimétriques	Nombre de sursauts de type IV associés
Densité de flux	Nombre	
10^{-22} W/m²/Hz		
$S < 30$	24	1
$30 \leqslant S < 60$	26	6
$S \geqslant 60$	6	20

Si nous ne retenons alors que les condensations centimétriques pour lesquelles S est supérieur ou égal à 60.10^{-22} W/m²/Hz, nous voyons que chacune est associée en moyenne à trois sursauts de type IV. Nous avons pu vérifier à l'aide de l'interféromètre à deux antennes que ces centres présentaient une zone brillante de diamètre très étroit, de l'ordre d'une minute.

Remarquons que des condensations aussi intenses sont relativement rares. Sur 56 centres identifiés au cours de la période étudiée, 6 avaient une intensité supérieure à 60.10^{-22} W/m²/Hz, soit une proportion de 11 %.

Notons enfin qu'il est intéressant de connaître la date d'apparition de tels centres sur le bord du disque solaire, car, étant donné leur caractère permanent, ils peuvent être souvent considérés comme des signes précurseurs de l'activité solaire. En particulier, on peut constater que les sursauts de type IV qui ont lieu sur ces centres ont une tendance très nette à paraître pendant les périodes où des orages radioélectriques sont observables dans la couronne solaire. Nous allons en effet montrer dans ce qui suit, que les centres d'activité qui donnent naissance à plusieurs sursauts de type IV, sont également associés aux orages radioélectriques.

C. — Association entre les centres d'activité responsables des sursauts de type IV et les orages radioélectriques.

La figure 15 illustre cette association : on y a porté pour la période du 15 août au 30 septembre 1957, les longitudes et les intensités des orages radioélectriques telles qu'elles sont mesurées avec l'interféromètre de Nançay qui fonctionne sur 169 MHz [9], et sur le même graphique la longitude des éruptions chromosphériques qui ont été suivies de sursauts de type IV. On voit que ces deux types d'émission se produisent, en général, dans *des régions qui apparaissent associées au même centre d'activité solaire.*

Les apparitions de type IV pendant les périodes solaires calmes sont moins fréquentes ; elles correspondent le plus souvent à des sursauts de type IV associés à des éruptions chromosphériques situées sur le bord du disque solaire, et par conséquent à des événements qui sont placés, en général, dans la catégorie « A » (voir chapitre précédent).

En définitive, un centre d'activité se manifeste en général, dans le domaine radioélectrique, par une condensation centimétrique importante. Ce centre donne lieu, au cours de son passage sur le disque solaire, à différents phénomènes liés

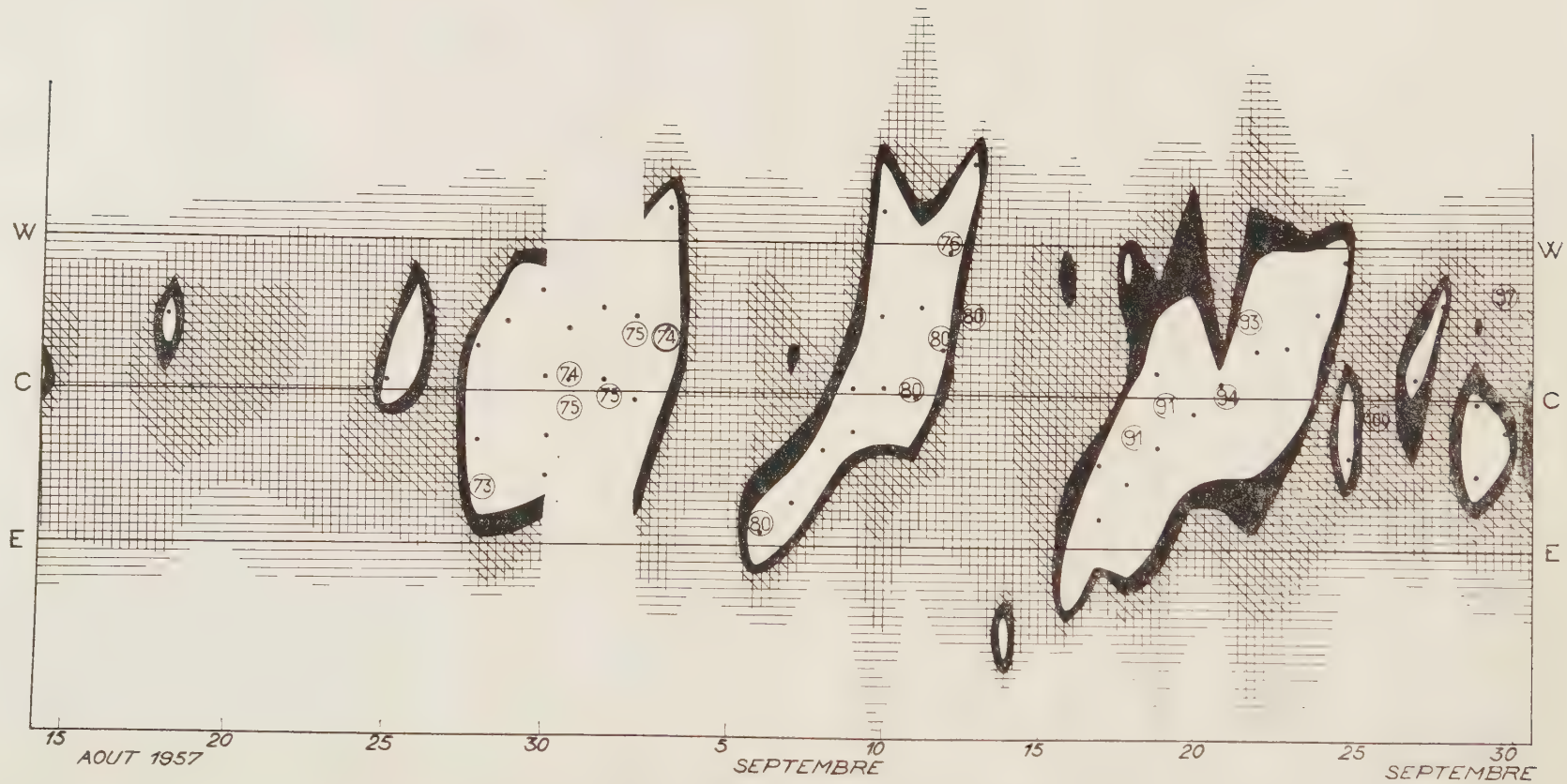


FIG. 15. — Position journalière des centres d'activité par rapport au centre du disque solaire.
Les points correspondent aux centres radioélectriques sur ondes métriques.
Les cercles simples correspondent aux centres optiques associés aux sursauts de type IV.
Le cercle double indique que le centre optique est associé à deux sursauts de type IV au cours de la même journée.

à l'existence d'éruptions chromosphériques :

— Pour des longitudes élevées, nous observons des sursauts de type IV qui ne présentent que la première phase.

— Pour des longitudes plus faibles, nous observons des centres d'orage radioélectrique ordinaire, et des sursauts de type IV, dont une partie du rayonnement est limitée aux ondes métriques (catégorie B) et plus particulièrement des centres d'orage-continuum. La figure 16 résume ces résultats. Nous résumons dans le tableau V les principales caractéristiques des orages radioélectriques ordinaires, des sursauts de type IV et plus particulièrement des orages-continuums.

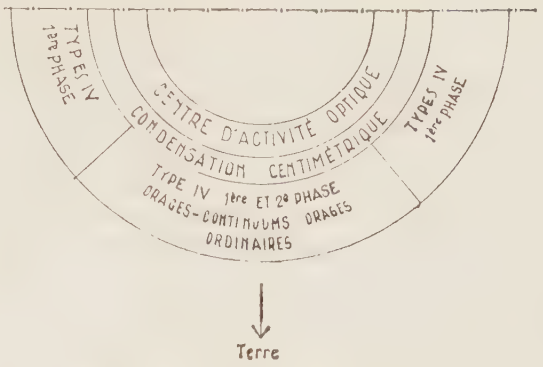


FIG. 16. — Phénomènes radioélectriques associés à un centre d'activité.

TABLEAU V

	ORAGES RADIOÉLECTRIQUES ORDINAIRES	SURSAUTS DE TYPE IV 1re PHASE	SURSAUTS DE TYPE IV 2e PHASE	ORAGES-CONTINUUMS
Directivité	Grande	Nulle	Moyenne	Grande
Durée	1 heure à plusieurs jours	30 mn	variable	1 à 2 jours
Altitude	0,7 $R_\odot$	1 $R_\odot$		0,3 $R_\odot$
Diamètre des sources d'émission (minutes d'arc)	2 à 10	8 à 12		2 à 6
Variabilité	Souvent grande	Faible		Faible
Polarisation	polarisée	souvent non polarisée		polarisée
Mode	ordinaire	parfois extraordinaire		ordinaire

TROISIÈME PARTIE

Relation entre les sursauts de type IV, les orages-continuums et les émissions de rayons cosmiques observées au voisinage de la Terre.

L'ensemble des propriétés caractéristiques que présentent les sursauts de type IV ont conduit BOISCHOT et DENISSE à les identifier au rayonnement synchrotron d'électrons de haute énergie accélérés au cours de certaines éruptions chromosphériques. Nous reviendrons plus loin sur l'interprétation théorique de ces phénomènes.

Le fait que de tels sursauts très intenses s'étaient produits dans les cas exceptionnels où l'on avait observé des rayons cosmiques solaires au voisinage de la Terre (25 juillet 1946-19 novembre 1949-23 février 1956) apportait un certain appui à cette identification et suggérait, de plus, que de nombreuses autres éruptions devraient être capables de produire des rayons cosmiques, les sursauts de type IV constituant une classe de phénomènes relativement rares, mais non exceptionnels. Cette dernière suggestion s'est trouvée confirmée, au cours de l'Année Géophysique, par de nombreuses observations. Alors que l'on ne pouvait auparavant détecter au niveau du sol que des particules primaires d'énergie au moins égale à quelques milliards d'électrons volts, les détecteurs, maintenant couramment placés dans des ballons ou dans des satellites permettent de déceler directement l'existence de protons de quelques centaines de MeV.

D'autre part, l'étude des absorptions ionosphériques (black-out) polaires a montré que ces événements révélaient indirectement l'arrivée dans

la haute atmosphère, au voisinage des pôles, de protons d'origine solaire de quelques dizaines de MeV [18]. Des listes d'absorptions ionosphériques ont été publiées par H. Leinbach et G. C. Reid [19], par l'expédition française de Terre Adélie, par Bailey [20] et enfin par Hartz [21]. Notons que les black-out polaires ont généralement été observés simultanément aux deux pôles Nord et Sud.

Ces différents moyens de détection, directs ou indirects, ont permis de déceler, au cours de la période étudiée (janvier 1957-décembre 1959) 23 cas d'émissions de rayons cosmiques d'origine solaire ; 19 cas ont été associés à des éruptions chromosphériques d'importance 3 ou 3+, 5 à des éruptions chromosphériques d'importance 2 ou 2+, et seuls les 2 black-out polaires relativement faibles du 10 avril 1958 et du 21 juin 1957, n'ont été précédés d'aucun phénomène solaire remarquable.

Nous avons remarqué que la plupart de ces émissions étaient accompagnées par des sursauts de type IV de forte intensité. Certaines de ces associations ont été notées indépendamment au fur

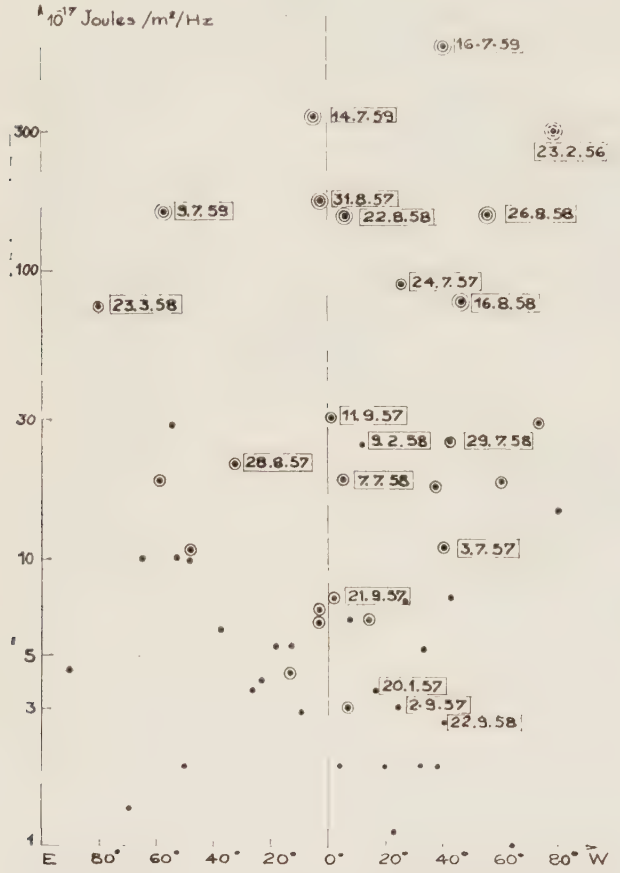


Fig. 17*a*. — Mois de janvier, février, mars, juillet, août, septembre.

Fig. 17*b*. — Mois d'avril, mai, juin, octobre, novembre, décembre.

Fig. 17. — Association entre les sursauts de type IV et les émissions de rayons cosmiques :
En ordonnée : Énergie approximative rayonnée au voisinage de la longueur d'onde dix centimètre.
En abscisse : Longitude héliographique de l'éruption chromosphérique associée à un sursaut de type IV.
Les points correspondent à des éruptions chromosphériques d'importance inférieure à 3, les points cerclés à des éruptions chromosphériques d'importance 3 ou 3+. Les dates encadrées d'un rectangle sont celles correspondant à l'émission de rayons cosmiques associée au sursaut de type IV. Les dates liées à des point entourés de deux cercles correspondent à l'augmentation du rayonnement cosmique observée au niveau du sol.

et à mesure des observations par de nombreux auteurs [19] [22] [23] [24]. Pour en étudier la signification, nous avons classé sur les figures 17*a* et 17*b* les éruptions chromosphériques observées suivant l'importance des sursauts de type IV qui les accompagnent. De même que dans les chapitres précédents, l'importance des sursauts de type IV a été mesurée, par l'énergie exprimée en 10^{-17} J/m²/Hz, qu'ils rayonnent au voisinage de la longueur d'onde 10 cm (produit de leur intensité maxima par leur durée) [25].

Sur les figures, tous les sursauts d'intensité su-

périeure à une unité observés au cours de la période considérée, sont figurés par un point dont l'ordonnée est égale à l'énergie du sursaut et dont l'abscisse est la longitude héliographique de l'éruption chromosphérique associée. Nous avons séparé les éruptions qui se sont produites au cours des mois de janvier, février, mars, juillet, août, septembre (fig. 17*a*) de celles observées durant les autres mois (fig. 17*b*). Les points qui correspondent à des éruptions 3 ou 3+ sont entourés d'un cercle, et nous avons indiqué la date des événements les plus importants. Les dates encadrées correspondent aux émissions de rayons cosmiques ; les points entourés de deux cercles correspondent aux quelques cas où l'on a pu détecter directement l'augmentation du rayonnement cosmique. L'événement du 23 février 1956, en raison de sa très grande intensité, a également été porté sur cette figure bien qu'il se soit produit en dehors de cette période.

Il faut noter que de nombreuses éruptions d'importance 3, parce qu'elles ne sont associées à aucune émission de type IV, ne sont pas portées sur cette figure.

Il est possible que cet ensemble ne soit pas complet, mais il est certainement représentatif des phénomènes solaires radioélectriques les plus importants survenus au cours de cette période. En effet, cette façon de réunir les sursauts de type IV, tels qu'ils ont été sélectionnés par le critère rappelé ci-dessus, se trouve entièrement justifiée, car sont relevées ainsi toutes les éruptions chromosphériques qui sont associées à des augmentations du rayonnement cosmique. A l'inverse, les éruptions chromosphériques d'importance 3 qui n'ont pas donné naissance à des sursauts de type IV n'ont jamais, au cours de cette période, été associées à des augmentations du rayonnement cosmique.

L'examen des figures 17*a* et 17*b* appelle les remarques suivantes :

— Les sursauts de type IV les plus énergiques sont nettement associés à des émissions de rayons cosmiques.

— Les grands sursauts de type IV (d'énergie supérieure à 10) qui ne sont pas suivis de manifestations attribuables à des rayons cosmiques solaires, sont le plus souvent associés à des éruptions qui sont soit d'importance optique inférieure à 3, soit situées sur la partie Est du disque.

Seuls 5 événements d'énergie supérieure à 10, associés à une éruption chromosphérique d'importance 3, et situés sur la partie Ouest du disque solaire, font exception ; il s'agit des phénomènes suivants :

15 janvier 1958, 26 janvier 1959, 18 août 1959, 23 novembre 1957, 17 mai 1959.

On peut déduire de ces remarques *qu'une éruption chromosphérique a une très grande probabilité de produire des rayons cosmiques observables au voisinage de la Terre quand elle est d'importance* 3 *ou* 3+, *qu'elle correspond à un sursaut de type IV d'énergie supérieure à* 10 *et qu'elle est située sur la partie Ouest du disque solaire.* La fréquence trouvée d'après l'examen des deux figures est de 68 % (11 cas sur 16). Les rayons cosmiques produits par les éruptions situées sur la partie Est du disque solaire et qui satisfont par ailleurs aux mêmes critères d'intensité parviennent plus rarement à la Terre. La fréquence est en effet seulement de 46 % (6 cas sur 13).

Ces résultats confirment les observations similaires faites par H. Leinbach et G. C. Reid et montrent que les rayons cosmiques trouvent peut-être des conditions de propagation vers la Terre plus faciles lorsqu'ils sont produits à l'Ouest du méridien central du Soleil.

Remarquons enfin que la plupart des émissions cosmiques se sont produites au cours des mois de juillet, août et septembre. Toutefois, l'examen des figures 17*a* et 17*b* montre que cette anomalie semble tenir au grand nombre des éruptions à caractéristiques favorables apparues au cours de ces mêmes mois, et ne permet pas de conclure à l'existence d'effets saisonniers dans la propagation des rayons cosmiques. Tout au plus, peut-on considérer comme anormal que 4 éruptions chromosphériques sur 5 associées à des black-out polaires, alors qu'elles étaient accompagnées d'un sursaut de type IV relativement faible, ont eu lieu en 1957, 1958, 1959 au cours du mois de septembre.

Il serait intéressant de voir si la liaison entre sursauts de type IV et rayons cosmiques solaires ne serait pas plus étroite, si l'on ne considérait que les types IV qui présentent une deuxième phase sur ondes métriques. Or, nous avons pu vérifier que, sur 14 sursauts de type IV associés à des émissions de rayonnement cosmique, 11 présentaient une deuxième phase sur ondes métriques. Ce résultat est normal puisqu'il s'agit des sursauts les plus énergiques, c'est-à-dire de ceux qui ont une grande probabilité d'être accompagnés d'une deuxième phase sur ondes métriques.

Pour préciser la liaison entre sursauts de type IV et émissions de rayons cosmiques, il serait alors utile de pouvoir suivre l'évolution et de préciser l'existence ou l'absence des 2 phases des 5 événements cités précédemment (15 janvier 1958, 26 jan-

vier 1959, 18 août 1959, 23 novembre 1957, 17 mai 1959) qui font exception au critère établi ci-dessus : en effet, bien qu'ils réunissent toutes les conditions nécessaires de ce critère (éruption chromosphérique située dans la partie Ouest du disque solaire, d'importance 3, associée à un sursaut de type IV d'énergie rayonnée supérieure à 10), ces événements n'ont été associés à aucune émission de rayons cosmiques.

Il faut signaler que les trois sursauts de type IV les plus énergiques depuis 1956 (23 février 1956, 14 ou 16 juillet 1959, 29 mars 1960, ce dernier sursaut de type IV est situé en dehors de la période étudiée) ont été associés à de brusques changements dans la vitesse de rotation de la Terre signalés par Danjon [26].

En conclusion, l'association étroite entre sursauts de type IV et rayons cosmiques solaires montre que la mesure de l'importance d'un sursaut de type IV par son rayonnement dans le domaine des ondes centimétriques est très significative.

QUATRIÈME PARTIE

Interprétation théorique de l'émission des sursauts de type IV et des orages-continums

Nous avons tenté de mettre en évidence, dans ce qui précède, l'évolution du rayonnement des sursauts de type IV.

Dans une première phase, dont la durée peut varier d'une dizaine de minutes à une heure ou deux (sursauts centimétriques très énergiques et de longue durée), le rayonnement se produit toujours sur ondes centimétriques et décimétriques et atteint le plus souvent le domaine des ondes métriques. Dans la deuxième phase, le continuum se produit essentiellement sur ondes métriques ; cette émission peut durer de une heure à un ou deux jours. Les continuums de durée particulièrement longue présentent un ensemble de propriétés très caractéristiques dont certaines sont identiques à celles observées pour les orages radioélectriques ordinaires : rayonnement limité aux ondes métriques et décamétriques, polarisation circulaire correspondant au mode ordinaire. Ces émissions de longue durée ont été appelées orages-continuums.

Denisse et Boischot ont proposé d'expliquer le rayonnement radioélectrique des sursauts de type IV par l'émission synchrotron d'électrons relativistes dans le champ magnétique de la couronne [27]. Ils ont montré qu'il suffisait d'électrons de quelques millions d'électron-volt dans un champ magnétique de quelques gauss pour rendre compte des énergies observées. Cette explication est en accord avec les phénomènes observés dans la première phase des sursauts de type IV :

a) L'émission synchrotron est une émission continue, stable, dont le spectre est très large.

b) Le rayonnement produit peut donner à la fois les modes extraordinaires et ordinaires, comme l'ont montré théoriquement Westfold [28] et Le Roux [29].

Rappelons que les sursauts (analogues des ondes centimétriques aux ondes métriques), pour lesquels un certain taux de polarisation a été mesuré correspondent au mode extraordinaire, si l'on considère le champ magnétique de la tache de tête des groupes bipolaires, mais ceci exige une confirmation expérimentale beaucoup plus poussée.

Il serait intéressant également de préciser l'effet de dépolarisation observé au bord du disque solaire ; notons à ce propos, que la polarisation d'une onde mesurée à la réception sur Terre, après propagation n'est pas forcément la même qu'à l'émission. Cette polarisation dépendra, en effet, d'une part du mécanisme d'émission et d'autre part des propriétés du milieu dans lequel l'onde se propage. Cette question a déjà été étudiée par Budden et Cohen [30]-[31], mais il ne nous a pas été possible de rendre compte simplement des phénomènes de polarisation observés à partir de ces théories.

c) Il a été montré que sur ondes métriques les émissions sur différentes fréquences semblent provenir d'une même zone sur le Soleil (5). Il faut noter que la source d'émission sur hautes fréquences se situe à des altitudes nettement plus basses que sur ondes métriques : les fréquences les plus élevées proviennent des régions les plus basses.

Pour expliquer le spectre dynamique du sursaut de type IV qui commence sur les hautes fréquences, et qui présente une coupure vers les basses fréquences, nous pouvons admettre alors que la source d'émission se situe à une altitude inférieure à l'altitude critique qui correspond à la fréquence de coupure de l'émission.

Il semble difficile, par contre, d'expliquer la totalité du rayonnement des deuxièmes phases

de sursaut de type IV et plus précisément celui des orages continuums par l'émission synchrotron. En effet, les effets de directivité qui caractérisent ces phénomènes semblent montrer que leur source d'émission est liée à la fréquence critique du plasma coronal. D'autre part, les orages-continuums sont polarisés circulairement et correspondent à l'onde *ordinaire*, si l'on considère toujours le champ magnétique prépondérant de la tache associée.

Denisse [32], [33] a proposé d'expliquer ces émissions par un processus analogue au rayonnement Cerenkov des particules de haute énergie, qui, produites au moment de l'éruption, puis piégées au voisinage du Soleil, exciteraient à chaque altitude des ondes de fréquences voisines de la fréquence critique correspondante. On peut en effet imaginer que ces particules restent piégées dans un tube de force ou règne un champ magnétique relativement fort. La configuration du champ magnétique prépondérant du centre optique associé au rayonnement peut être alors responsable de l'étroitesse de la source d'émission de l'orage-continuum.

D'autre part, la théorie montre que ce rayonnement correspond à l'onde *ordinaire*, ce qui est conforme aux résultats de l'expérience.

La figure 18 donne un schéma des deux émissions radioélectriques de type IV et d'orage-continuum qui accompagnent une éruption chromosphérique.

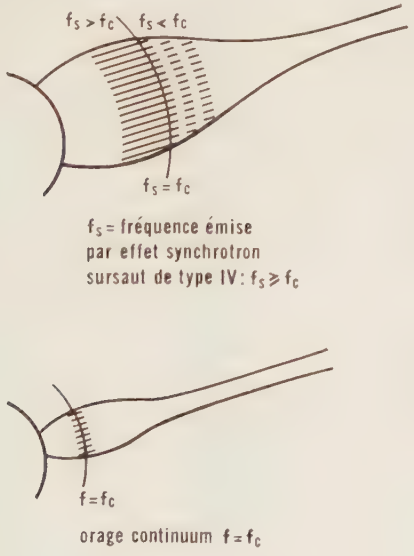


Fig. 18. — Schémas des émissions de type IV et d'orage-continuum.

Il est difficile de préciser si l'orage-continuum doit être considéré comme une transformation de la première phase des sursauts de type IV ou comme un phénomène indépendant lié aussi à l'éruption chromosphérique associée : les deux centres d'émission pourraient alors prendre naissance simultanément. L'appareil dont on dispose actuellement ne permet pas d'étudier de façon précise les périodes de transition entre les différents phénomènes. Les spectographes panoramiques, quoique limités par leur sensibilité, seraient mieux adaptés pour faire cette étude.

Il a été montré que, de façon générale, l'altitude apparente des centres d'émission des sursauts de type IV décroissait plus ou moins vite. Deux hypothèses sont alors envisageables :

a) Le rayonnement des orages-continuums serait produit en même temps que celui de la première phase et ne serait visible que lorsque son émission deviendrait prépondérante.

b) Les particules du nuage responsable de l'émission de type IV retomberaient à des altitudes plus basses et exciteraient le rayonnement des orages-continuums.

Nous ne pouvons actuellement conclure. Ces interprétations ne sont données qu'à titre indicatif.

Manuscrit reçu le 13 *janvier* 1961.

LISTE DES SURSAUTS DE TYPE IV DE LA CATÉGORIE « A »

Année 1956

Dates	T. U.
14 novembre	10.35
20 novembre	10.09

Année 1957

3 avril	08.26
16 avril	10.39
18 avril	13.05
16 juillet	17.39
21 juillet	13.21
2 septembre.....	12.57
5 novembre	12.05
14 décembre	12.35
16 décembre	11.35

Année 1958

20 janvier	14.45
23 mars	10.03
4 juin	21.41
5 juin	08.39
5 juin	16.17
28 août.....	10.28
14 septembre.....	08.32
23 décembre	05.59
31 décembre	16.57

Année 1959

12 février	22.50
8 mai	22.54
11 mai	20.10
9 juin	16.35
9 juin	17.28

LISTE DES SURSAUTS DE TYPE IV DE LA CATÉGORIE « B »

Année 1956

Dates	Heure du début (T. U.)
—	—
7 novembre ...	11.03

Année 1957

1 juin	12.53
3 juin	10.42
4 juin	08.59
19 juin	16.09
28 juin	07.07
28 juin	12.22
3 juillet	08.32
28 août.....	09.20
31 août.....	13.02
24 novembre ...	08.57

Année 1958

9 février	21.05
3 mars	10.05
7 juillet	00.26
16 août.....	04.48
19 août.....	21.40
22 août.....	14.30
26 août.....	00.23
21 octobre	23.18
11 décembre	18.05

Année 1959

8 février	13.42
9 février	02.00
24 mars	07.34
10 mai	22.00
10 juillet	02.23
14 juillet	03.30
16 juillet	21.18
18 août.....	10.25
2 décembre	12.50

Année 1960

29 mars	06.56
30 mars	15.19

LISTE DES SURSAUTS DE TYPE IV PROBABLES ÉTABLIE A PARTIR DES GRANDS SURSAUTS CENTIMÉTRIQUES

Année 1956

Date	Heure du début (T. U.)	Numéro du Centre optique associé (Quarterly Bull)
—	—	—
2 juin	22.46	59
20 juin	19.38	70
22 juillet	16.38	20
31 août.....	12.31	64
7 septembre....	12.50	71
12 septembre....	22.33	81
17 septembre....	19.45	78
22 octobre	07.10	20
1 novembre ...	11.07	27
6 novembre ...	10.15	42
7 novembre ...	11.03	38
13 novembre ...	14.31	42
14 novembre ...	10.35	38
20 novembre ...	10.09	45
22 novembre ...	13.23	45
2 décembre	13.54	64
18 décembre	08.37	69
20 décembre	04.44	71
26 décembre	14.03	74
29 décembre	00.43	80

Année 1957

5 janvier	00.50	4
6 janvier	17.02	—
7 janvier	17.29	—
2 avril	03.01	4
2 avril	19.55	2
3 avril	08.26	5
12 avril	18.56	17
16 avril	10.39	34
17 avril	20.06	—
18 avril	13.05	33
14 mai	18.38	—
1 juin	12.53	78
3 juin.	10.42	80
4 juin	08.59	81
19 juin	16.09	103
22 juin	02.31	103
24 juin	08.46	103
28 juin	00.08	—
28 juin	07.07	107
28 juin	12.22	107
30 juin	9.45	107
2 juillet	00.15	—
3 juillet	08.32	2

Année 1957 (*suite*)

15 juillet	20.19	—
16 juillet	17.39	18
21 juillet	13.21	30
24 juillet	18.01	31
28 août.....	09.20	73
30 août.....	22.09	—
31 août.....	05.48	75
31 août.....	13.02	74
2 septembre....	12.57	75
3 septembre....	00.38	74
3 septembre....	14.17	74
11 septembre....	02.44	80
12 septembre....	15.00	80
12 septembre....	21.45	76
13 septembre....	14.18	80
18 septembre....	18.04	91
19 septembre....	04.00	91
21 septembre....	13.31	94
22 septembre....	12.49	93
26 septembre....	18.36	100
15 octobre	21.50	—
18 octobre	21.41	38
20 octobre	02.37	—
20 octobre	16.36	38
25 octobre	15.02	49
26 octobre	07.54	49
5 novembre ...	12.05	61
22 novembre ...	04.06	83
23 novembre ...	07.50	83
24 novembre ...	08.57	92
13 décembre	01.53	126
14 décembre	12.35	126
16 décembre	11.35	126
17 décembre	07.36	126
19 décembre	09.16	126
22 décembre	22.35	126
26 décembre	02.45	—
28 décembre	22.28	133

Année 1958

15 janvier	16.40	19
20 janvier	14.45	36
25 janvier	12.04	39
9 février	21.05	55
10 février	13.25	51
12 février	23.42	53
26 février	05.51	70
1 mars	03.37	—
3 mars	10.05	85
14 mars	14.53	85
20 mars	06.34	102
23 mars	10.03	107
28 mars	17.02	107
7 avril	23.34	19
5 mai	04.12	51

Année 1958 (*suite*)

4 juin	21.41	89
5 juin	08.39	89
5 juin	16.17	105
5 juin	16.55	105
6 juin	04.37	89
26 juin	02.55	131
7 juillet	00.26	12
19 juillet	19.05	33
23 juillet	13.22	43
29 juillet	03.03	39
30 juillet	15.25	39
2 août.....	18.40	—
16 août.....	04.48	76
18 août.....	08.20	88
19 août.....	21.40	88
22 août.....	14.30	88
26 août.....	00.23	88
28 août.....	10.28	—
14 septembre....	08.32	116
19 octobre	07.22	27
21 octobre	23.18	34
24 octobre	14.39	34
24 novembre ...	16.00	84
11 décembre	18.05	114
12 décembre	02.10	114
12 décembre	12.58	114
23 décembre	05.59	134
31 décembre	16.57	134

Année 1959

4 janvier	03.11	—
14 janvier	21.30	—
25 janvier	14.11	37
26 janvier	10.32	34
8 février	13.42	65
9 février	02.00	67
9 février	13.08	67
12 février	22.50	67
19 février	20.30	73
24 mars	07.34	118
24 mars	10.03	111
29 mars	07.46	130
8 mai	22.54	60
10 mai	21.00	59
10 mai	22.02	59
11 mai	20.10	59
13 mai	05.10	60
17 mai	05.23	60
9 juin	16.35	86
9 juin	17.28	92
16 juin	06.24	92
18 juin	11.38	92
9 juillet	20.42	20
10 juillet	02.23	20
14 juillet	03.30	20

Année 1959 (*suite*)

16 juillet	21.18	20
27 juillet	12.35	38
29 juillet	11.58	42
29 juillet	21.17	42
18 août.....	10.25	66
28 août.....	00.24	91
28 août.....	01.14	91
31 août.....	18.58	90
28 novembre ...	20.27	56
29 novembre ...	18.43	56
30 novembre ...	17.38	56
2 décembre	12.50	56
21 décembre	00.50	69

Année 1960

11 janvier	20.40	47
15 janvier	13.36	45
18 février	00.56	—
28 mars	20.47	29
29 mars	06.56	29
30 mars	15.19	29

BIBLIOGRAPHIE

[1] Pawsey J. L. and Bracewell R. N., 1955, *Radioastronomy*, Oxford at the Clarendon Press.

[2] Boischot A., 1957, *C. R. A. S.*, **244**, 1326.

[3] Haddock F. T., 1958, *Proc. I. R. E.*, **46**, 3.

[4] Maxwell A., Swarup C. et Trent G. H., 1958, *Symposium on Radio Astronomy*, Paris, 176.

[5] Wild J. P., Sheridan K. V. et Trent C. H., 1958, *Symposium on Radio Astronomy*, Paris.

[6] Boischot A., 1958, *Ann. Astr.*, **21**, 273.

[7] Dodson-prince H., 1958, *Proc. I. R. E.*, **46**, 149.

[8] Malinge A. M., 1960, *Ann. Astr.*, **23**, 574.

[9] Blum E. J., Boischot A. et Ginat M., 1956, *C. R. A. S.*, **243**, 19.

[10] Kundu M. R., 1959, *Ann. Astr.*, **22**, 1.

[11] Pick M. et Steinberg J. L., 1959, *C. R. A. S.*, **248**, 2452.

[12] Hachenberg O., 1958, *Z. f. Astr.*, **48**.

[13] Takakura T., 1958, *Paris Symposium on Radio Astronomy*, 562.

[14] Malinge A. M., 1960, *C. R. A. S.*, **250**, 1186.

[15] Boischot A., and Warwick J. W., 1959, *J. Geophys. Res.*, **64**, 683.

[16] Trellis M., 1958, *C. R. A. S.*, **22**, 1965.

[17] Avignon Y. et Pick M., 1959, *C. R. A. S.*, **248**, 368.

[18] Reid G. C. et Collins C., 1959, *J. Atmosph. and Ter. Phys.*, **14**, n° 63.

[19] Leinbach H. and Reid G. C., 1959, *University of Alaska Report* (May).

[20] Bailey D. K., 1959, *Proc. I. R. E.*, **47**, 255-256.

[21] Hartz T. R., 1960, Communication d'une liste d'événements.

[22] Anderson K. A., Arnoldy R., Hoffman R., Peterson L. and Winckler J. R., 1959, *J. Geophys. Res.*, vol. 64, n° 9, septembre.

[23] Hakura Y. et Goh T., 1959, *Hiraiso Radio Wave Observatory Report.*

[24] Thomson A. R. and Maxwell A., 1959, *Radio Astronomy Station of Harvard College Observatory, Fort Davis, Texas, Report.*

[25] Avignon Y. et Pick M., 1959, *C. R. A. S.*, **249**, 2276.

[26] Danjon A., 1959, *C. R. A. S.*, **249**, 2254.

[27] Boischot A. et Denisse J. F., 1957, *C. R. A. S.*, **245**, 2199.

[28] Westfold K. C., 1959, *Ap. J.*, **130**, 241.

[29] Le Roux E., 1961, *Ann. Astr.*, **24**, 71.

[30] Budden K. G., 1952, *Proc. Roy. Soc.*, A, **215**, 215.

[31] Cohen M. H., 1960, *Ap. J.*, **131**, 3.

[32] Denisse J. F., Boischot A. et Pick M., 1960, *Space Research Proceedings of the first International Space Science Symposium, Nice*, 638.

[33] Denisse J. F., 1960, Congrès de l'U. R. S. I., Londres.

[34] Fokker A. D., 1960. *Thèse*, Leyde.

Imprimerie Taffin-Lefort, à Lille (France). — *Published in France.*

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Récents progrès dans la propagation des ondes dans les milieux ionisés

Vu et approuvé :
Paris, le 30 Novembre 1960,
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
J. Pérès.

Vu et permis d'imprimer :
Le Recteur de l'Académie de Paris,
Jean Sarrailh.